



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SALIM CALIL SALIM NETO

**MICROCLIMA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DE
FLORESTA DE ALTITUDE NA MATA ATLÂNTICA**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
JULHO – 2017

SALIM CALIL SALIM NETO

**MICROCLIMA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DE
FLORESTA DE ALTITUDE NA MATA ATLÂNTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo
Macedo Pezzopane

Co-orientador: Prof. Dr. Gilson
Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
JULHO – 2017

MICROCLIMA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DE FLORESTA DE ALTITUDE NA MATA ATLÂNTICA

Salim Calil Salim Neto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração em Ciências Florestais.

Aprovada em 28 de Julho de 2017

Pesquisador Dr. José Ricardo Macedo
Pezzopane
EMBRAPA
Membro Externo

Pós-doutorando João Vitor Toledo
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Externo

Prof. Dr. Henrique Machado Dias
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Interno

Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
Universidade Federal do Espírito Santo
Membro interno

Prof. Dr. José Eduardo Macedo
Pezzopane
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 12 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL | 12 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1. FLORESTA DE ALTITUDE..... | 13 |
| 3.2. MICROCLIMA | 15 |
| 3.3. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA..... | 19 |
| 3.4. <i>SUNFLECKS</i> | 20 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 23 |
| 4.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 23 |
| 4.1.1. Delimitação da área dos estudos microclimáticos | 24 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA PRÓXIMA AO SOLO EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE..... | 26 |
| 4.3. ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA), DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) E ÁREA BASAL (AB) EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE | 30 |
| 4.4. VERIFICAÇÃO DO REGIME DE <i>SUNFLECKS</i> EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE | 32 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 5.1. CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA PRÓXIMA AO SOLO EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE. | 36 |
| 5.1.1. Saldo de radiação (Sr) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA). | 36 |
| 5.1.2. Temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (DPV) | 52 |
| 5.1.3. Temperatura do solo | 63 |
| 5.2. VARIABILIDADE ESPACIAL DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA)..... | 73 |
| 5.3. REGIME DE <i>SUNFLECKS</i> EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE | 79 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 84 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 85 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 86 |

Aos meus filhos Cícero e Bento,
amores da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pela oportunidade oferecida.

À toda equipe do Parque Estadual Forno Grande, em especial ao Diego e ao Jeanerson, pela ajuda incansável no campo.

Ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA por conceder horário especial que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor José Eduardo Macedo Pezzopane pelo incentivo contínuo ao longo de todo o período de doutoramento e pela orientação segura, precisa e, sobretudo, eficiente.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio, Prof. Dr. Henrique Machado Dias, pesquisador Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane e ao pós-doutorando João Vitor Toledo pelas considerações e sugestões finais.

Aos colegas do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, em especial à equipe do Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal que ao longo destes anos compartilharam a convivência comigo e me ajudaram no desenvolvimento da pesquisa, no campo e no laboratório. Para não cometer injustiças evito citar os incontáveis nomes.

À família Gonçalves Matos pelo apoio e acolhimento durante boa parte desta jornada.

Aos amigos da República Cachorrão que durante bom tempo convivi nas idas a Alegre.

Ao amigo Iulo pela ajuda na medição do IAF e acolhimento em Alegre.

Aos meus amigos de Vitória que sempre mandaram mensagens de apoio me incentivando a prosseguir com o trabalho.

À Fabiana Poubel que apareceu, assim, de repente, para alegrar ainda mais a minha vida.

Aos meus pais, José Marcos Calil Salim e Núbia Mara Pitanga Calil Salim, que não mediram esforços para me apoiar.

BIOGRAFIA

SALIM CALIL SALIM NETO, filho de José Marcos Calil Salim e Núbia Mara Pitanga Calil Salim, nasceu em Vitória/ES em 21 de fevereiro de 1979.

Concluiu o 2º grau em Vitória/ES, no Colégio Salesiano e graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em março de 2003.

Em abril de 2005, concluiu pós-graduação *lato sensu* em Gestão Ambiental pela UFES. Nesta época trabalhava na área de arborização urbana na Prefeitura Municipal de Vitória/ES.

Durante o período de junho de 2006 a setembro de 2007 trabalhou no Departamento de Controle Ambiental na Prefeitura Municipal de Serra/ES. Posteriormente, no período de outubro de 2007 a junho de 2009, prestou serviço na área de gestão de SMS na Petrobrás.

Em junho de 2009 foi nomeado para o cargo de Agente de Meio Ambiente e Recurso Hídricos no Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA onde atua como Engenheiro Florestal. Em agosto deste mesmo ano ingressou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na UFES, submetendo a dissertação para defesa no dia 08 de novembro de 2011.

Ao longo do ano de 2012 além dos trabalhos desenvolvidos no IEMA, passou a lecionar para cursos de graduação na Faculdade Centro Leste – UCL. Em março de 2013 ingressou no programa de Doutorado em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo, submetendo a tese para defesa no dia 28 de julho de 2017.

RESUMO

SALIM NETO, Salim Calil. **Microclima em diferentes fitofisionomias de floresta de altitude na Mata Atlântica**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

O Bioma Mata Atlântica é reconhecido pela sua alta biodiversidade e por abrigar espécies endêmicas nos seus ecossistemas associados. Ao longo do gradiente altitudinal observa-se a formação de ecossistemas de altitude que se diferem marcadamente em suas estruturas fitofisionômicas. O presente estudo objetivou estudar a influência de diferentes fitofisionomias de floresta de altitude na definição do microclima próximo ao solo. A área de estudo se localiza no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil (lat. 20°31'13"S; long. 41°06'21"W) e se constitui em uma encosta voltada para leste com 1,1 ha, a 1.450m de altitude. Ao longo de um ano, foram realizados três estudos microclimáticos. No primeiro buscou-se caracterizar o saldo de radiação (Sr), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), a temperatura do ar, o déficit de pressão de vapor (DPV) a um metro de altura, além da temperatura da superfície e temperatura do solo em quatro profundidades, por meio de estações meteorológicas automáticas instaladas em uma floresta de altitude que possui duas áreas com fitofisionomias diferentes. Em um segundo estudo, para verificar a relação do IAF e da área basal (AB) na transmissividade da radiação, foi realizado uma análise da distribuição espacial da RFA na área de estudo. No terceiro estudo, em duas épocas do ano, foram selecionados 10 dias sem presença de nuvens (5 dias no verão e 5 dias no inverno) para caracterizar o regime de *sunflecks* no interior das duas áreas de fitofisionomias diferentes. De acordo com os resultados, as diferenças fitofisionômicas condiciona um microclima diferenciado no interior da floresta de altitude, sendo possível, ainda, observar sazonalidade marcante e influência da nebulosidade nas diferenças microclimáticas. A área composta por uma fitofisionomia com o dossel mais fechado, com um maior índice de área foliar, atenua os efeitos da radiação solar durante o dia e desempenha papel mantenedor de energia durante a noite, fazendo com que a variação microclimática seja mais estável em comparação com a área que apresenta uma fitofisionomia com dossel mais aberto. Na área mais aberta foram observados maiores valores de temperatura do ar e DPV máximos, além de maior temperatura do solo. Quanto à variabilidade espacial da RFA, foi possível estabelecer um modelo de atenuação em função do IAF e da AB. A diferença na fitofisionomia faz com que o regime de *sunflecks* no interior de cada área seja desigual, sendo em dossel mais fechado de menor intensidade e duração em comparação a fitofisionomia mais aberta. A diferença no microclima observada entre os dois ambientes provavelmente controla a composição e a distribuição das espécies na floresta de altitude estudada, necessitando assim de novos estudos que investiguem a fitossociologia e a ecofisiologia das espécies que a compõe.

Palavras-chave: *Mata Atlântica, Microclimatologia florestal, Radiação, Análise foliar.*

ABSTRACT

SALIM NETO, Salim Calil. **Microclimate in different highland forest phytophysiological structures in the Atlantic Forest.** 2017. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

The Atlantic Forest Biome is recognized for its high biodiversity and for harboring species endemic to its associated ecosystems. Over altitudinal gradient is observed the formation of altitude ecosystems that differ markedly in their phytophysiological structures. The present study aimed to study the influence of the phytophysiology on the definition of the microclimate near the ground. The study area is located in the Forno Grande State Park, Castelo, ES, Brazil (lat. 20°31'13"S; long. 41°06'21"W) and consists of a slope facing east with 1.1 ha, at 1,450m altitude. Over a year, three microclimatic studies were carried out. In the first one the aim was to characterize the net radiation (R_n), photosynthetically active radiation (PAR), air temperature, vapor pressure deficit (VPD) at one meter in height, besides the surface temperature and temperature of the soil in four depths, through automatic meteorological stations installed in an altitude forest that has two areas with different phytophysiological structures. In a second study, an analysis of the spatial distribution of RFA in the study area was performed to verify the relationship of LAI and basal area (BA) in the transmissivity of the RFA. In the third study, in two seasons of the year, 10 days (5 days in the summer and 5 days in the winter) were selected to verify the regime of sunflecks within the study area. According to the results, the phytophysiological differences condition a differentiated microclimate inside the altitude forest, being possible to observe remarkable seasonality and influence of the cloudiness in the microclimatic differences. The area composed of a more closed canopy phytophysiology with a higher index of leaf area attenuates the effects of solar radiation during the day and plays an important role in maintaining energy at night, making the microclimatic variation more stable in comparison with the area that presents a more open canopy phytophysiology. In the more open area, higher values of air temperature and maximum VPD were observed, in addition to higher soil temperature. As for the spatial variability of PAR, it was possible to establish an attenuation model in function of the LAI and BA. As for the spatial variability of RFA, it was possible to establish an attenuation model based on LAI and AB. The difference in the phytophysiology makes the regime of sunflecks within each area unequal, being in the closed canopy of less intensity and duration compared to the more open phytophysiology. The difference in microclimate observed between the two environments probably controls the composition and distribution of the species in the studied forest, thus requiring new studies that investigate the phytosociology and the ecophysiology of the species that compose it.

Key words: *Atlantic Forest, Forestry microclimatology, Radiation, Leaf analysis*

1. INTRODUÇÃO

Em uma comunidade florestal é possível encontrar fitofisionomias distintas que se formam a partir da condição natural da área e que confere uma heterogeneidade intrínseca à paisagem e que pode influenciar na distribuição de espécies. A topografia, a natureza do solo e a exposição do terreno em relação ao sol são exemplos de fatores abióticos que estabelecem condições diferentes dentro de uma floresta e que influencia na capacidade da mesma se regenerar.

A dinâmica de uma floresta se desenvolve mediante os distúrbios que ocorrem no ecossistema, promovendo abertura de clareiras, grandes ou pequenas, fazendo com que ela promova um ciclo de renovação de espécies e com isso forme mosaicos de ambientes dentro da floresta (Whitmore, 1989; Brokaw, 1985; Watt, 1947). Quando ocorre um distúrbio em uma floresta, a consequente abertura no dossel promove um incremento na disponibilidade de luz, que atinge o solo dentro da área em que ocorreu o distúrbio. Este aumento na disponibilidade de luz cria condições que, podem ser favoráveis para os indivíduos regenerantes que se encontram no local (sementes e plântulas) (Brokaw, 1985; Denslow, 1997).

As alterações no microclima estão principalmente relacionadas com este novo regime de luz que atinge a clareira. Observa-se o aumento da temperatura do ar e do solo, o aumento da umidade do solo, o aumento da evapotranspiração e a diminuição da umidade relativa do ar. Importante ressaltar que estes fatores microclimáticos variam conforme a estrutura fitofisionômica, e variam também no espaço e no tempo (Brown, 1993).

Outro aspecto além da quantidade de luz é a qualidade espectral da radiação que atinge uma clareira. A baixa intensidade de radiação difusa embaixo do dossel é deficiente na faixa espectral fotossinteticamente ativa (300-700nm), o que pode comprometer a taxa de crescimento das plântulas que compõe este ambiente. No entanto, para assegurar o seu crescimento, estas espécies se aproveitam da incidência da radiação direta que chega no sub-bosque em forma de *sunflecks*. Como a incidência de *sunflecks* varia espacialmente dentro da floresta, condicionada principalmente à arquitetura e

altura do dossel, estes picos de radiação influencia consideravelmente a distribuição das espécies na floresta (Strauss-Debenedetti e Bazzaz, 1995).

Embora a disponibilidade de luz seja apontada como o principal recurso que limita o desenvolvimento das espécies em uma floresta, é importante analisar outros fatores que podem influenciar no estabelecimento e na distribuição das espécies no ecossistema florestal e que são inclusive influenciadas pela disponibilidade de luz no ambiente. Temperatura, umidade do ar e do solo e nutrientes podem se tornar fatores limitantes, conforme a disponibilidade observada no ambiente.

Com isso, de acordo com a cobertura do solo, a amplitude na variação dos elementos microclimáticos pode ser maior ou menor, pois a vegetação absorve parte da energia incidente para realizar seu processo fisiológico. Por exemplo, se o solo se encontra desprovido de vegetação toda a energia provinda do aquecimento da atmosfera servirá para aquecer o solo, ao passo que se o solo estiver recoberto por alguma vegetação, esta utilizará parte da energia para o seu crescimento e estabelecimento no ambiente (Chen et al, 1999).

Dentro deste contexto a Mata Atlântica é um exemplo por possui uma grande heterogeneidade ambiental, que está associada à sua grande faixa latitudinal (5°S a 33°S aproximadamente) e altitudinal (0m a mais de 2.800m de altitude) de domínio, e que confere uma gama variada de ecossistemas que a compõe (mangue, restinga, floresta estacional, floresta ombrófila, campos de altitude, rupestre, dentre outros). No entanto, dentro deste Bioma, observa-se a falta de informações acerca das variáveis microclimáticas em ecossistemas em altitudes elevadas, como as florestas de altitudes e suas fitofisionomias.

Desta forma, levanta-se a hipótese que a fitofisionomia influencia o microclima em uma floresta de altitude

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Estudar a influência de diferentes fitofisionomias de uma floresta de altitude, na região de domínio da Mata Atlântica, na definição do microclima próximo ao solo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o microclima próximo ao solo em uma floresta de altitude considerando diferentes fitofisionomias.
- Analisar a variabilidade espacial de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no interior de uma floresta de altitude.
- Verificar o regime de *sunflecks* no interior de uma floresta de altitude.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. FLORESTA DE ALTITUDE

O Bioma Mata Atlântica é considerado um complexo de ecossistemas que abriga uma significativa diversidade biológica e por isso de grande importância ecológica. As alterações geo-climáticas influenciam na diferenciação florística observadas no território que abrange este Bioma e a altitude é um dos principais fatores para esta variabilidade de ecossistemas (Renó, 2015).

De acordo com a classificação de Veloso et al (1991) no Brasil as florestas situadas nos planaltos e serra e que atingem até 2.200m de altitude são denominadas de floresta montanas e altimontanas, também citadas como floresta de altitude (França e Stehman, 2004)

Estas florestas ocorrem entre 500m e 1.500m de altitude no sudeste do Brasil. Esta formação florestal possui uma alta biomassa de briófitas, uma riqueza maior de pteridófitas e uma menor diversidade de angiospermas em comparação a florestas localizadas em baixas altitudes (França e Sthelman, 2004).

Zorzaneli et al. (2016) em estudo desenvolvido em uma floresta de altitude no Parque Nacional do Caparaó (1.849 – 1.890 m a.b.s.l.) encontraram um índice de diversidade de Shannon de 2,79 e os autores apontam forte similaridade florística com outras florestas de altitude localizadas na Serra da Mantiqueira.

As florestas ocupam grande faixa de condições ambientais que variam ao longo do gradiente altitudinal. Esta variação provoca mudanças nas variáveis microclimáticas, notadamente o regime de radiação, a temperatura e a umidade do ar e do solo. Janzen (1967) observou que o clima de uma região localizada em baixa altitude possui relativamente pouca sobreposição com o clima em altitude elevada.

De acordo com Barry (2008), a quantidade de radiação solar que atinge ecossistemas de altitude tende a ser maior em comparação com as regiões de baixa altitude em condições de atmosfera limpa, no entanto como a presença

de nuvens na atmosfera aumenta a medida que se ganha altitude, a radiação solar sofre atenuação diminuindo sua intensidade.

Porém quando se analisa ao nível do solo, a radiação solar é mais intensa em florestas de altitude em comparação com as florestas de terras baixas. Isto é possível por causa da mudança na estrutura da floresta ao longo do gradiente altitudinal, onde as florestas de altitude possui uma redução no índice de área foliar permitindo uma maior incidência de radiação no solo (Chazdon, Pearcy e Fetcher, 1995).

Com o aumento na altitude observa-se uma diminuição na temperatura do ar e do solo e, a quantidade de água no solo e a umidade aumenta a medida que se eleva em altitude, devido a presença maior de nuvens na atmosfera. Cavelier (1995) relata que a precipitação em montanhas tropicais cresce até aproximadamente 1.500 m de altitude em média, a partir daí há um decréscimo na precipitação, sendo rara a ocorrência de chuvas em altitudes mais elevadas. Segundo o autor, na cadeia montanhosa dos Andes, esta variação da precipitação ao longo do gradiente altitudinal está relacionado com o que ele denomina de “cinturão de nuvens” que abrange duas faixas de altitude: 1.000 – 1.400 m e 3.600 – 4.000 m.

Esta condição de redução de temperatura do ar e do solo não é propícia para a atividade microbiana, o que influencia numa baixa taxa de decomposição da matéria orgânica em montanhas tropicais, influenciando na disponibilidade de nutrientes para as árvores que compõe uma floresta de altitude (Grubb, 1977).

Diante destas condições ambientais de baixa temperatura, falta de nutrientes no solo e disponibilidade hídrica, as florestas de altitude tem por característica apresentar indivíduos arbóreos menores em altura e em índice de área foliar (Tanner e Kapos, 1982).

A baixa temperatura provoca uma redução na atividade e no crescimento celular refletindo no tamanho das folhas (Cavelier, 1995). A falta de disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente o nitrogênio, provoca uma lignificação maior das células, criando vasos curtos e estreitos, o que dificulta a condutância de água para as partes superiores da planta, ocasionando uma redução na expansão foliar. Apesar da boa disponibilidade de água no solo a baixa condutância hidráulica provocada pelas características

morfológicas das plantas não compensa a perda de água perdida por evapotranspiração durante o dia, comprometendo o crescimento da planta (Cavelier, 1995; Tanner e Kapos, 1982).

Esta diversidade nas condições ambientais e microclimáticas acaba por determinar uma variação na composição e na distribuição de espécies ao longo do gradiente altitudinal e faz com que se formem fitofisionomias diferentes que se sucedem em pequenas escalas (Whitmore, 1989). Scudeller, Martins e Shepherd (2001) em estudo em Floresta Atlântica apontam a altitude como indispensável na caracterização do ambiente.

3.2. MICROCLIMA

O clima é a descrição média das condições atmosférica, que permite saber que condições de tempo são predominantes em uma determinada região. Esta descrição expressa as condições atmosféricas médias (temperatura, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento, precipitação) ao longo do tempo (geralmente 30 anos) (Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2002).

O clima varia temporal e espacialmente e isto define as escalas com que se pretende estudar. Em relação à escala temporal, com o movimento de rotação, a Terra experimenta uma variação diária nas condições meteorológicas, enquanto que o movimento de translação faz com que o planeta tenha uma variação anual no clima.

Em relação à escala espacial, esta pode ser dividida em macroclima, mesoclima e microclima. Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), a macro-escala trata dos fenômenos em escala regional ou geográficos cujos fatores preponderantes são a latitude e altitude da região em análise; a meso-escala refere-se a escala local, cujo clima é influenciada pela topografia (topoclima) da região (exposição, inclinação e configuração do terreno); e, a micro-escala é aquela cujo clima é definido pelo tipo de cobertura do solo, que por sua vez determina o balanço local de energia. No entanto, os autores citados ressaltam que a análise deve ser integrada entre as escalas, ou seja, dentro da macro-escala, possuem vários topoclimas que possuem vários microclimas.

Durante o dia a atmosfera se aquece com a incidência da radiação solar e transfere a energia para a superfície da Terra que se encontra mais fria, fazendo com que o solo acumule a energia provinda do sol. À noite, o fluxo se inverte, a energia é transferida do solo (mais quente) para a atmosfera (mais fria). Desta forma, se espera que quanto mais próximo da superfície, da interface solo-atmosfera, maior é a variação das condições atmosférica, pois nesta camada a atmosfera se encontra mais ativa e os processos de troca de energia mais intensa (Rosemberg, Blad e Verma, 1983).

No geral, o microclima dentro de uma floresta intacta tende a ser estável (Baker et al., 2014), não apresentando grandes variações ao longo do tempo, pois o dossel proporciona efeito regulador no balanço de energia, o que torna também relativamente estável a temperatura e a umidade. No entanto, distúrbios naturais ou provocados pelo homem alteram a estrutura da floresta, o que permite uma maior entrada de radiação, fazendo com que as variáveis microclimáticas se alterem que, por sua vez dinamiza a distribuição de espécies dentro da floresta (Baker et al., 2014; Biudes et al., 2015; Davies-Coley et al, 2000; Fetcher, Oberbauer e Strain, 1985; Hardwick et al., 2015; Vanwallegghem e Meentemeyer, 2009; Von Arx et al., 2013;).

Com o objetivo de verificar a influência de uma floresta intacta no microclima de áreas em regeneração, Baker et al. (2014) delinearam um experimento estabelecendo transectos ao longo do gradiente: interior da floresta – áreas em diferentes estágios de regeneração. Os autores analisaram ao longo de um ano a temperatura, a umidade e o déficit de pressão de vapor em floresta madura e em três estágios diferentes de regeneração (7, 25 e 45 anos de regeneração). De acordo com os resultados encontrados, os autores concluíram que a floresta madura apresenta uma maior estabilidade das variáveis em comparação às florestas em regeneração ao longo do tempo e, quanto mais velha a regeneração menos significativa é a diferença na estabilidade das condições microclimáticas avaliadas. Os autores atribuíram a esta estabilidade, o fato da floresta madura apresentar um maior valor de índice de área foliar.

A variação diurna no microclima também pode ser observada em florestas temperadas, como mostra o trabalho de Chen et al. (1999). Segundo estes autores as variáveis microclimáticas, particularmente radiação solar,

temperatura do ar na superfície e temperatura do solo são altamente afetados pelas mudanças que ocorrem ao longo do dossel e exibem relativamente uma alta variabilidade espacial e temporal dentro de uma floresta.

A importância no estudo da variação microclimática em diferentes estruturas florestais reside no entendimento que, os fatores que envolvem o microclima e suas dinâmicas ao longo do tempo podem fornecer conhecimento acerca de fenômenos ecológicos (por exemplo, fenologia) e a dinâmica de espécies e indivíduos (dispersão e ciclo de vida). Por exemplo, temperaturas médias do ar e do solo atingem a mínima antes do sol nascer e a máxima ao meio dia ou no final da tarde, dependendo da localização geográfica, da posição na paisagem e estrutura da floresta. Variações da temperatura são maiores durante o dia do que a noite. Em escalas temporais mais longas (semana e meses), a variação microclimática dentro do dossel da floresta nem sempre possui relação direta com os extremos de clima diário. No entanto, valores médios do microclima medidos semanalmente e mensalmente são influenciados pela flutuação diária de temperatura. Portanto, a escolha das variáveis microclimáticas pode afetar consideravelmente os resultados e conclusões de um estudo ecológico (Chen et al, 1999).

Além da variação temporal, o microclima dentro de uma floresta varia ao longo de um gradiente espacial, onde fatores relacionados a fisiografia influencia o comportamento das variáveis microclimáticas. Fatores como a localização na topografia (topo, encosta e base), a inclinação e orientação de encostas em relação ao sol (Norte, Sul, Leste e Oeste) e a altitude fornecem elementos que desempenham importante papel nas condições microclimáticas encontradas em determinado ambiente.

Dentre estes fatores a altitude se destaca em relação a influência nas variáveis microclimáticas (Ma et al., 2010). No entanto, este destaque se torna evidente em uma macro-escala, sendo que em uma escala localizada a inclinação e a exposição do terreno ganha importância no estudo de parâmetros microclimáticos e são fatores primordiais a serem incluídos nos estudos que envolvem distribuição de espécies em florestas (Ashcroft et al, 2008).

Ma et al (2010) em estudo realizado em uma floresta de coníferas na Califórnia, que abrangeu 18 unidades amostrais de 4 ha cada, verificaram que

a variabilidade microclimática – expressa em temperatura do ar e do solo, umidade relativa, déficit de pressão de vapor (VPD), fluxo de calor do solo, umidade do solo, radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e velocidade do vento – apresentou relação significativa com a altitude em comparação as variáveis relacionadas a cobertura vegetal – expressa em densidade, área basal e diâmetro a altura do peito (DAP).

No intuito de ajustar modelos de distribuição de espécies em uma escala local, Ashcroft et al. (2008) avaliaram a influência da altitude, da radiação solar, da umidade e da exposição na temperatura do solo, em uma região localizada a 80 km de Sydney, Austrália. De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que, quando incluídos no ajuste, a radiação, umidade e exposição aumentaram a correlação com a temperatura do solo, em comparação quando apenas utilizado a altitude como variável. Neste trabalho os autores discutem que, para a área de estudo, a altitude foi claramente o mais consistente e determinante fator para a predição de temperaturas moderadas como no outono, primavera e temperaturas mínimas do verão e máximas do inverno. Enquanto que para temperaturas extremas como as máximas do verão e mínimas do inverno a exposição se tornou mais significativa.

Segundo Hardwick et al. (2015), existem três razões para esperar forte relação entre a estrutura da vegetação e o microclima. Primeiro, o dossel absorve, transmite e reflete a radiação solar, portanto reduz a quantidade de energia que penetra ao longo do dossel, o que pode manter o ar e o solo abaixo do dossel em temperaturas mais baixas. Segundo, as copas das árvores atenua a velocidade do vento na medida em que se ganha em profundidade no dossel. A turbulência do ar é suprimida pela vegetação e dosséis densos permitem menos turbulência do que dosséis mais abertos. Como o ar no topo do dossel é mais quente, a maior turbulência carrega este ar aquecido até próximo ao solo aumentando a temperatura. Por último, a quantidade de vapor de água que o ar pode manter é fortemente dependente da temperatura do ar. Portanto, em dois ambientes com a mesma umidade específica (massa de vapor de água por unidade de massa de ar), mas com diferentes temperaturas do ar, o ambiente mais quente terá menor umidade relativa do que o ambiente mais frio.

3.3. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

Como as plantas absorvem a radiação solar para realizar a fotossíntese, estudos que envolvem a radiação solar dentro de um ecossistema são importantes para compreender os processos físicos, químicos e biológicos de um ecossistema florestal (Andrade et al, 2014). A radiação absorvida pelas plantas se situa entre 0,4 μm até 0,7 μm da faixa espectral e é conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A estrutura de uma floresta determina a quantidade de RFA disponível no ambiente e uma das variáveis que pode expressar a estrutura de uma floresta é a área basal (AB, $\text{m}^2\cdot\text{ha}$), que indica o quanto de espaço é ocupado por determinada espécie ou conjunto de espécies.

Trabalhos recentes mostram que a transmissividade da RFA possui forte relação com o IAF (Andrade et al, 2014; Caron et al, 2012). O índice de área foliar (IAF) é a projeção máxima de área foliar presente no dossel por área do terreno. Este índice se torna importante porque através dele é possível chegar a conclusões a respeito do dossel de uma determinada floresta, especialmente aos processos ecológicos que ali ocorrem, como: transpiração, interceptação da chuva, deciduidade, fotossíntese e transmitância da radiação solar ao longo do dossel (Maas et al., 1994).

Segundo Jonckheere et al. (2003), o IAF da vegetação depende da composição das espécies, do estágio de desenvolvimento do ecossistema, da sazonalidade, das condições do ambiente e das práticas de manejo.

O IAF varia conforme o estado do ecossistema em que ele está associado. Segundo Wandelli e Marques Filho (1999) o valor do índice de área foliar pode variar conforme as respostas ecofisiológicas das árvores que compõe o dossel às condições microclimáticas e às condições bióticas, como herbivoria e competição presentes no ambiente. Segundo Kozlowski et al. (1991), o IAF pode variar de menos de um em regiões áridas até para mais de 20 em algumas populações de coníferas.

O índice de área foliar varia também conforme as condições climáticas do ambiente imposta pela sazonalidade. Por exemplo, florestas semidecíduas e decíduas, que possuem estação seca e chuvosa bem definidas, acabam tendo uma variação sazonal em relação ao IAF, sendo que se espera o máximo de

IAF no período chuvoso e o mínimo no período seco, o que influencia na incidência de radiação fotossinteticamente ativa ao longo do dossel (Maas et al., 1994).

Andrade et al. (2014), em um estudo num fragmento de floresta na Mata Atlântica com objetivo de caracterizar a variação temporal da radiação fotossinteticamente incidente acima e embaixo do dossel encontraram uma atenuação de 93% da RFA na estação seca e de 97% na estação chuvosa. Os autores concluem que a posição do sol, as condições atmosféricas e a estrutura da floresta são fatores que afetam o regime de radiação no interior de uma floresta.

A relação entre a conversão de RFA em biomassa e o índice de área foliar em mudas de eucalipto foi examinada por Caron et al. (2012). Neste trabalho, os autores dispuseram as mudas em diferentes tamanhos de tubetes e de forma adensado e pouco adensado. Os valores de conversão de RFA encontrados foram $7,33 \text{ g.MJ}^{-1}$ para tubetes médios e pequenos adensados e de $3,26 \text{ g.MJ}^{-1}$ para tubetes do mesmo tamanho porém pouco adensado. Com isso, os autores afirmam que a produção de mudas de eucalipto deve priorizar o adensamento ao invés de tamanho de tubete, pois uma maior área foliar provocada pelo adensamento promove um maior ganho em biomassa.

Dong et al. (2012) analisaram os dados de crescimento em diâmetro em três florestas tropicais localizadas no Panamá, Tailândia e Borneo em função da radiação solar e temperatura do ar e encontraram relação positiva para a radiação e negativa para a temperatura mínima.

3.4. *SUNFLECKS*

Segundo Chazdon e Pearcy (1991), de toda a radiação que incide sobre o dossel de uma floresta uma pequena fração atinge a superfície. Esta radiação se distribui de forma aleatória no solo, o que permite às plantas que habitam o sub-bosque experimentarem breves momentos de alta incidência de radiação. Estes picos de radiação fotossinteticamente ativa são denominados de *sunflecks* e a sua ocorrência no interior de uma floresta em uma determinada região depende de fatores como a estrutura do dossel, as condições climáticas e sazonalidade (Figura 1).



Figura 1 – Incidência de *sunflecks* no interior de uma floresta de altitude, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Dentro de uma floresta até 85% da densidade de fluxo de radiação são provenientes do regime de *sunflecks*, considerando uma intensidade acima de $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. A duração, a frequência e a intensidade do *sunflecks* são fatores importantes para o processo fotossintético e crescimento de plântulas (Pearcy, 1983).

Geralmente estes fatores diminuem com o aumento da altura das árvores e do índice de área foliar, pois a radiação que incide no dossel é interceptada pelas folhas das árvores diminuindo a transmissividade da radiação para os estratos inferiores do dossel. Desta forma, a disposição dos ramos e galhos e a orientação das folhas que compõe a copa das árvores influenciam na distribuição e na duração do *sunflecks* (Chazdon e Pearcy, 1991).

Quando submetidas ao aumento súbito de intensidade de radiação provocada pelo *sunflecks* as plantas apresentam respostas fisiológicas para o aproveitamento da radiação no processo fotossintético. Plantas tolerantes a sombra respondem fisiologicamente de forma mais rápida à indução provocada pelo *sunflecks* em comparação com as espécies pioneiras.

De acordo com Way e Pearcy (2012) em ambientes sombreados como o interior de uma floresta, as plântulas do sub-bosque possuem uma rápida indução fotossintética durante o período de *sunflecks* e após este período a perda desta indução é mais lenta do que em plantas pioneiras. Esta perda de indução mais lenta faz com que elas aproveitem melhor o *sunflecks* subsequente, obtendo melhores resultados na assimilação de carbono e consequentemente nas taxas de crescimento sob essas condições de baixa disponibilidade de radiação. Esta resposta está associada à rápida ativação e lenta desativação da Rubisco e da abertura de estômatos, entre o período de *sunflecks* e período de sombra.

No entanto, as plantas tolerantes a sombra quando submetidas a um regime de *sunflecks* de longa duração (acima de 30 minutos) tendem a sofrer mais com a fotoinibição e estresse térmico em comparação com as plantas pioneiras. Estas plantas possuem um maquinário fisiológico melhor preparado para suportar alta intensidade de radiação, como o movimento de cloroplastos e modificação da orientação das folhas; maior concentração de pigmentos carotenóides ou antocianinas que dissipam o calor principalmente pela via das xantofilas (Pocar-Castell e Palmroth, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza no Parque Estadual Forno Grande (PEFG), definida como Unidade de Conservação de Proteção Integral, cujo objetivo básico é a conservação da natureza sendo permitido o uso indireto dos recursos naturais, como pesquisa, educação ambiental e ecoturismo.

Situa-se aproximadamente a 6 km do distrito de Forno Grande e a 30 km da sede do município de Castelo, sul do Estado do Espírito Santo (lat. 20°31'13"S; long. 41°06'21"W), com altitudes entre 1.100m (sede do PEF) e 2.039m (pico do Forno Grande). Possui área de 913 hectares e o órgão gestor é o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) (Figura 2).

Conforme a classificação de Köppen, o clima no município de Castelo é classificado como Cwb – clima tropical de altitude, com temperatura média anual em torno de 23°C, com máximas chegando a 36°C e mínimas entre 5 e 7°C. A pluviosidade média anual é de 1.200mm com invernos secos e verões chuvosos (IDAF, 2001).

O Parque está inserido no Domínio da Mata Atlântica e, de acordo com Veloso et al. (1992), a sua vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa Montana e Altomontana. No entanto, além da floresta de altitude, observa-se dentro do Parque a presença marcante de uma vegetação herbácea-arbustiva típico de ecossistemas associados a afloramentos rochosos (campos de altitude) e que compõe significativamente a paisagem de toda a região.

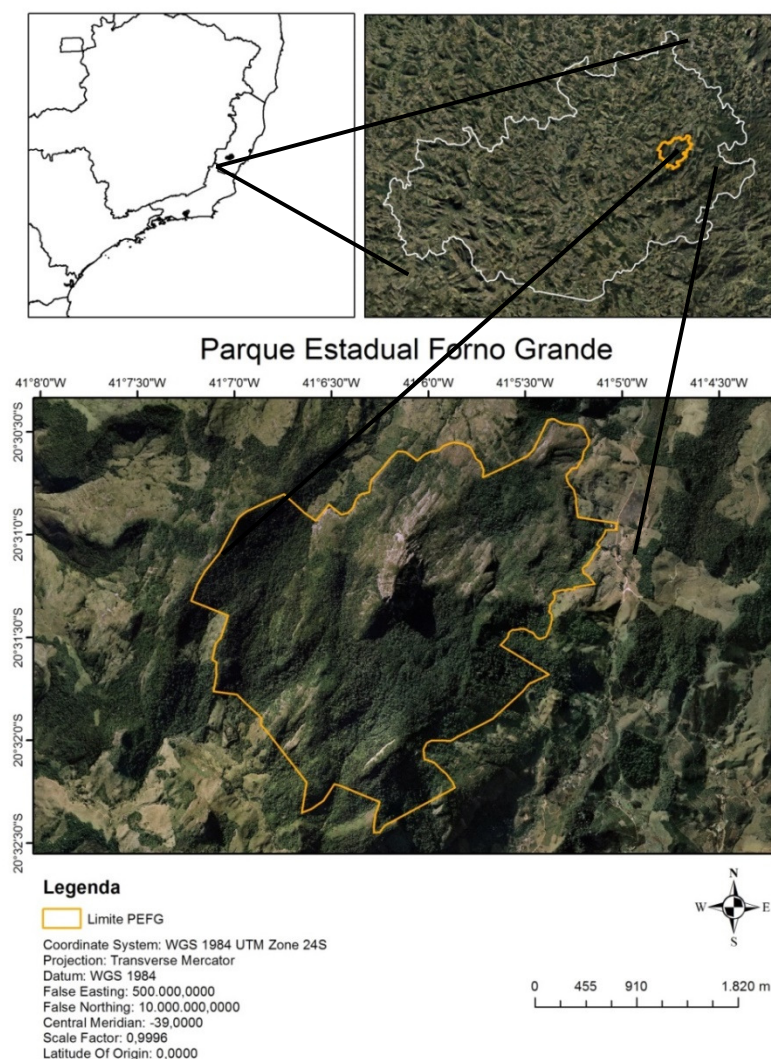


Figura 2 – Parque Estadual Forno Grande (PEFG), localizado no município de Castelo, sul do estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. Fonte: o autor.

4.1.1. Delimitação da área dos estudos microclimáticos

Como o objetivo da pesquisa é estudar a influência da fitofisionomia da vegetação nas condições microclimáticas próximo ao solo, foi delimitada uma área de floresta de altitude, cujo seu interior possui duas fitofisionomias diferentes. Esta área possui 1,1 ha, está localizada a 1.450 m de altitude e se constitui em uma leve encosta com orientação para o leste e termina em uma grande escarpa de maciço rochoso (Figura 3).

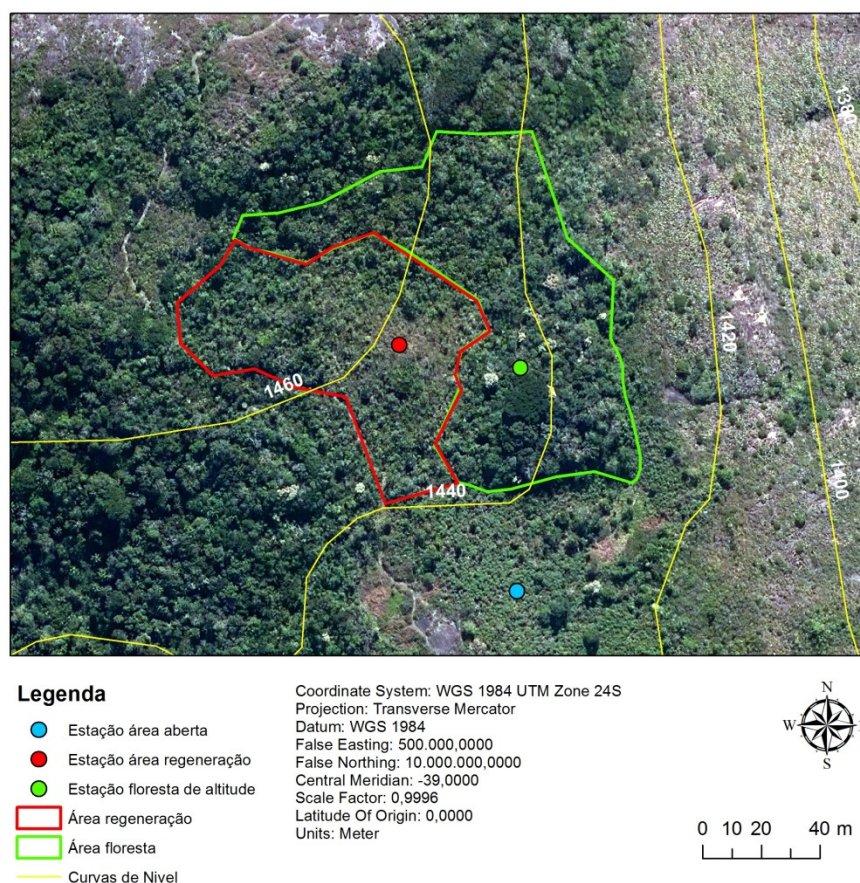


Figura 3 – Área do estudo microclimático, composta por floresta de altitude com duas fitofisionomias distintas, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Na parte superior e central da encosta, a área é ocupada por uma vegetação herbácea-arbustiva, com altura não ultrapassando 10m e nitidamente com solo pouco profundo e presença de afloramentos rochosos. Esta área apresenta, portanto, uma fitofisionomia com dossel mais aberto característico de ambientes em estágios iniciais de regeneração e, por isso neste estudo denominou-se de “área regeneração”. Na parte inferior da encosta e no limite norte da área, a floresta apresenta uma fitofisionomia com dossel mais fechado, atingindo 20 metros de altura e solo profundo, sendo denominada de “área floresta” (Figura 4).

Desta forma a floresta de altitude selecionada apresenta um gradiente em sua fitofisionomia, de onde se parte de uma região em regeneração, com dossel mais aberto e finaliza em uma fitofisionomia com dossel mais fechado,

onde se observa nitidamente diferenças na composição e distribuição de espécies entre estes dois locais da encosta.



Figura 4 – Foto da área dos estudos microclimáticos que ilustra a fitofisionomia da área em regeneração (primeiro plano) e da área floresta (setas vermelhas), situados a 1.450 m de altitude ao longo de uma encosta com orientação para o leste, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Nesta encosta foram desenvolvidos três estudos microclimáticos. O primeiro envolveu a caracterização do microclima, ao longo de um ano, no interior das duas fitofisionomias da floresta de altitude; no segundo estudo buscou-se analisar a distribuição e a espacialização da radiação fotossinteticamente ativa ao longo do gradiente fitofisionômico e; o terceiro verifica o regime de *sunflecks* nas distintas fitofisionomias.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA PRÓXIMA AO SOLO EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE

Para o desenvolvimento do estudo microclimático foram instaladas três estações meteorológicas, sendo: uma estação no interior do sub-bosque da área floresta, outra dentro da área em regeneração e uma terceira estação instalada em uma área adjacente, coberta por samambaia e que foi mantida capinada ao longo de todo experimento. Esta estação foi instalada com a

finalidade de se ter uma referência comparativa, bem como para caracterizar as condições meteorológicas do local (Figura 3). O período de medição compreendeu um ano, entre 03 de fevereiro de 2016 e 02 de fevereiro de 2017.

Na estação localizada na área adjacente foram coletados dados de radiação global (R_s), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), precipitação, temperatura e umidade do ar. Nas outras duas estações (área floresta e área em regeneração) foram coletados dados de saldo de radiação (S_r), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura e umidade do ar, temperatura da superfície e temperatura do solo em quatro profundidades (2, 5, 10 e 20 cm).

Apresenta-se na Tabela 2 resumo dos equipamentos (modelos de sensores) utilizados em cada estação para cada variável microclimática. Antes de serem levados a campo cada sensor foi testado e calibrado no laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo.

Além destas variáveis medidas diretamente no campo, calculou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) por meio da seguinte equação (Pereira, Angelocci e Sentelhas, 2002):

$$DPV = e_s - e_a$$

Onde: DPV = déficit de pressão de vapor (kPa); e_s = pressão de saturação de vapor d'água (kPa) e; e_a = pressão parcial de vapor d'água.

A pressão de saturação de vapor d'água foi obtida por meio da equação de Tetens:

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_{ar}}{237,3 + T_{ar}}}$$

Onde: T_{ar} = temperatura do ar.

A pressão parcial de vapor foi calculada a partir dos valores de umidade relativa registrados em cada estação meteorológica e por meio da seguinte equação:

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100}$$

Onde: UR = umidade relativa (%).

Tabela 1 – Variáveis microclimáticas envolvidas na pesquisa, modelo de sensores utilizados e local de medição. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

| Variável microclimática | Equipamento utilizado | Local de medição |
|--|---------------------------------------|---|
| Radiação global (Rs) | Piranômetro SP-Lite Kipp Zonen | Área aberta |
| Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) | Radiômetro LI-COR LI190B | Área aberta |
| | Radiômetro linear LI-COR line quantum | Área Floresta e Área regeneração |
| Saldo de radiação (Sr) | Saldo radiômetro NR-Lite Kipp Zonen | Área Floresta e Área regeneração |
| Temperatura e Umidade relativa | Sensor CS215-L | Área aberta, Área Floresta e Área regeneração |
| Precipitação | Pluviômetro TB4/TB4MM | Área aberta |
| Temperatura da superfície | Radiômetro Infravermelho Apogee SI111 | Área Floresta e Área regeneração |
| Temperatura do solo | Sonda 108 Temperature Probe | Área Floresta e Área regeneração |

Os sensores foram instalados a um metro de altura da superfície do solo e conectados a “dataloggers” modelo CR1000 da marca Campbell Scientific® alimentados por bateria 12V, cujo carregamento desta era mantido por meio de placa solar de 10w. Os “dataloggers” foram programados para coletar dados a cada 15 segundos e registrar média a cada 5 minutos (Figura 5).

Inicialmente, a análise comparativa entre as fitofisionomias se deu por meio da média anual de cada variável estudada aplicando-se o teste *t* de student, ao nível de 1% de probabilidade. Posteriormente, foram utilizadas médias mensais e diárias para buscar comparar o comportamento das variáveis microclimáticas das duas áreas ao longo do período da pesquisa, utilizando-se análise de regressão simples entre uma fitofisionomia e outra.

Para a radiação fotossinteticamente ativa e para a temperatura do ar foi realizada ainda uma análise temporal com a interpolação dos dados das médias horárias mensais. Esta interpolação foi realizada por meio do programa ArcGis® e foi utilizado o interpolador *natural neighbor*.

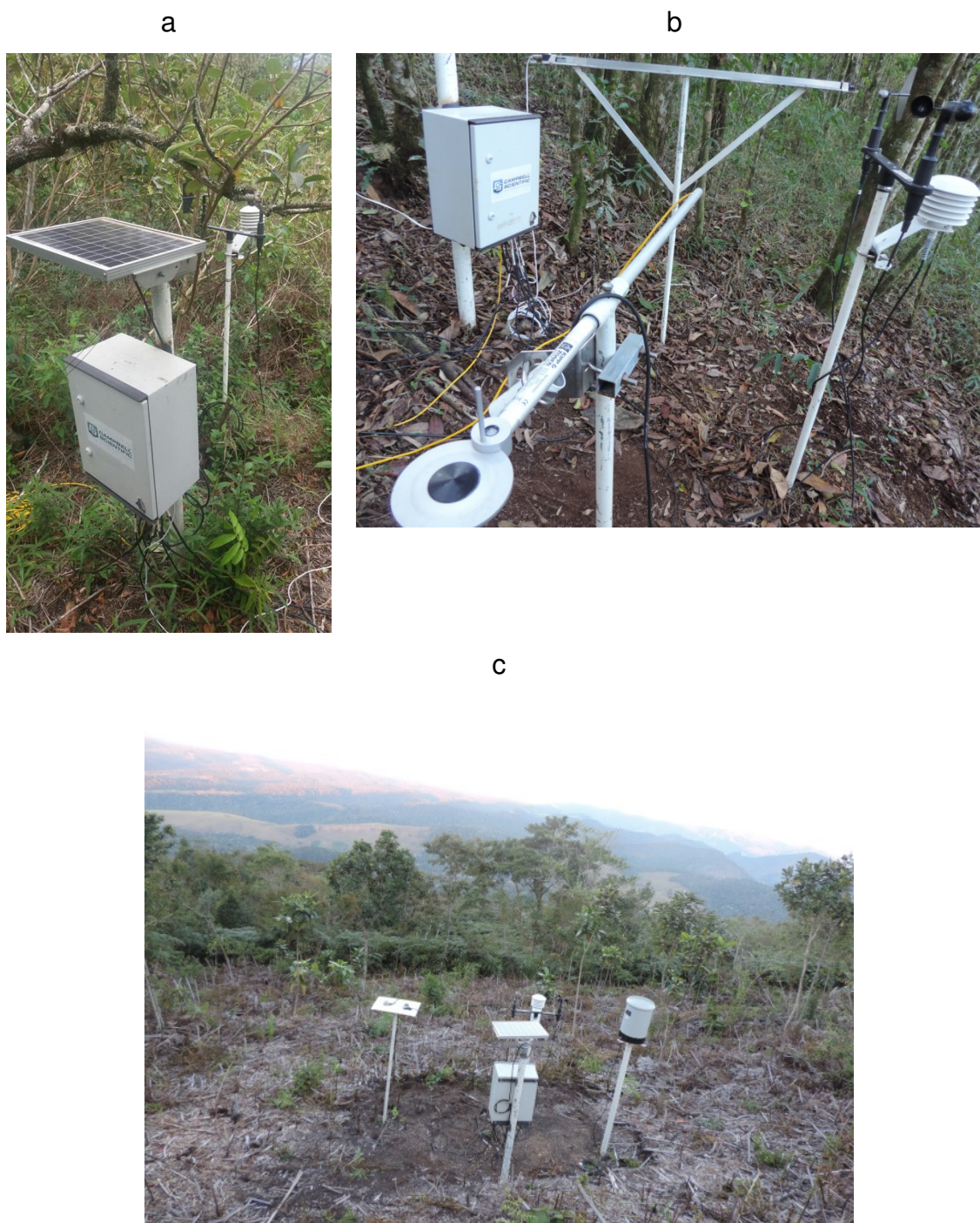


Figura 5 – Estações meteorológicas instaladas na área em regeneração (a), na área floresta (b) e na área aberta adjacente (c), Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

4.3. ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA), DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) E ÁREA BASAL (AB) EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE

Para realizar o estudo da variabilidade espacial da RFA, inicialmente foi produzido um mapa da área de estudo, por meio do programa ArcGis®, plotando-se uma grade de 15x15m. Assim, em cada intercessão das coordenadas da grade estabeleceu-se o centro de uma parcela de 225m², distantes 15 m entre si, dentro da área de estudo (área floresta e área regeneração) (Figura 6).

De posse do mapa, com auxílio de um distanciômetro eletrônico (marca Leica®, modelo DistoTM D5) e um telescópio modelo tracon S-25 (marca Ushikata®) apoiado em tripé, os centros das parcelas foram demarcados no campo por meio da fixação de 65 estacas, a 1 metro da superfície do solo, de modo a cobrir toda a área de estudo.

Em cada parcela foi calculado a área seccional e a área basal por meio das seguintes equações (Soares et al, 2006):

- $g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000}$, onde

g = área seccional da árvore, em m²,

DAP = diâmetro a altura do peito, em cm.

- $AB = \sum_{i=1}^n g_i$, onde

AB = área basal, em m².ha⁻¹;

g_i = área seccional da i ésima árvore.

Para obtenção da AB foram incluídas todas as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm. O índice de área foliar e a RFA foram medidos instantaneamente entre os dias 23 de janeiro e 13 de fevereiro de 2017, em cima de cada estaca fixada ao campo, ou seja, no centro de cada parcela a um metro do solo.

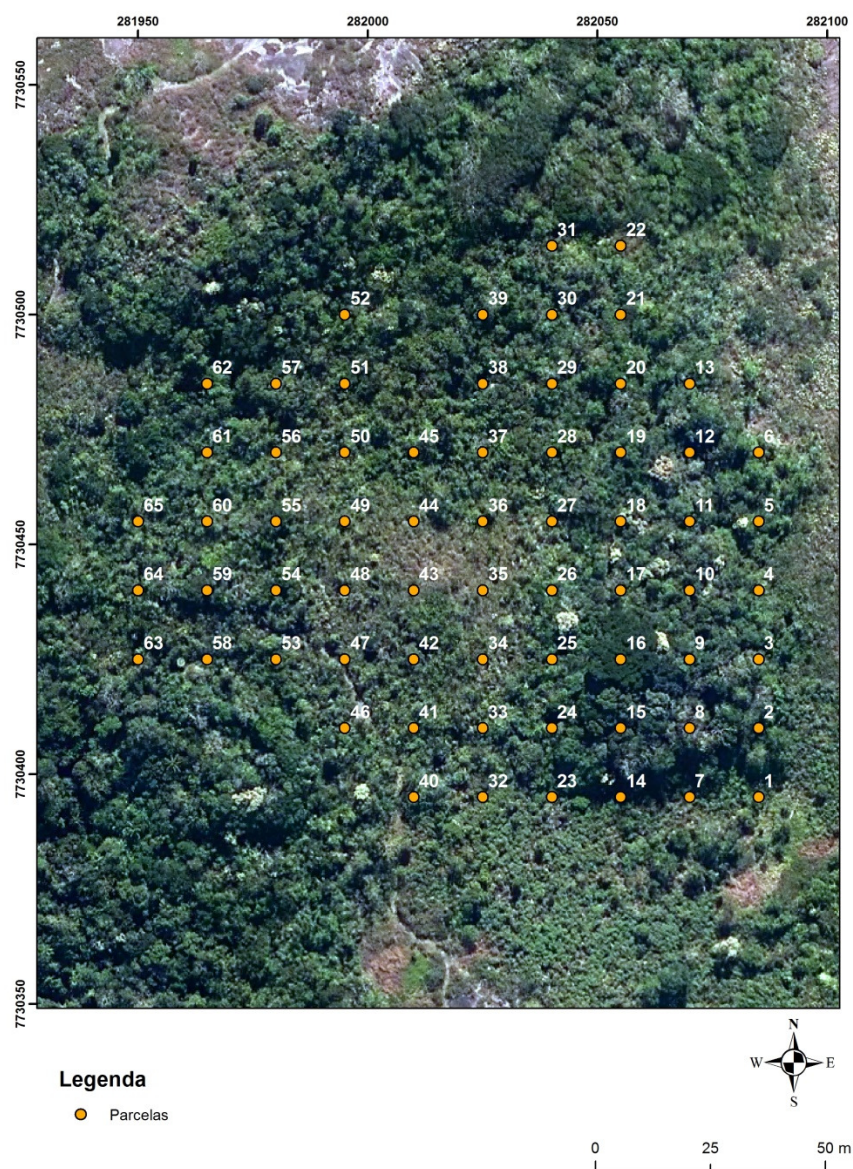


Figura 6 – Parcelas (65 no total, 225m² cada) alocadas na floresta de altitude para o desenvolvimento do estudo da variabilidade espacial da RFA. Os pontos indicam o centro da parcela. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

A medição do IAF foi realizada em dias nublados e para tanto foi utilizado um analisador de dossel modelo LAI-2.050 (marca LI-COR[®]), conectado a “datalogger” modelo LAI 2.000 (marca LI-COR[®]).

A medição da RFA foi realizada por meio de radiômetro linear da marca Apogee[®], modelo SQ311, conectado a um microcontrolador Arduino (modelo Duemilanove, Ivrea, Turin, Itália). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi determinada em condições de céu claro entre as 11:30 h e 14:00 h. Foram efetuadas 5 medições em cada estaca, anotando-se o horário de medição.

Posteriormente para cada valor de RFA obtido instantaneamente em cada parcela buscou-se na estação da área aberta adjacente o valor de RFA que correspondia ao mesmo horário, assim obteve-se para cada medição instantânea a relação entre a $\frac{RFA_{parcela}}{RFA_{área\ aberta}}$. Esta relação estabelece a transmissividade da RFA dentro da parcela, haja vista que a área aberta tem por objetivo simular as condições acima do dossel. Por fim, foi calculada a média entre as 5 medições de transmissividade da RFA para cada parcela.

Os dados de transmissividade da RFA, IAF e AB foram organizados em uma planilha eletrônica e posteriormente interpolados com a finalidade de revelar a espacialização e a diferenciação das variáveis ao longo de toda a área de amostragem, por meio do interpolador *natural neighbor*.

Com o objetivo de verificar a relação da transmissividade da RFA em função do IAF e AB, foi realizada uma análise de dispersão e regressão para cada variável independente (IAF e AB) e uma análise de regressão múltipla envolvendo as duas variáveis.

4.4. VERIFICAÇÃO DO REGIME DE SUNFLECKS EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE

A coleta de dados dos picos de radiação fotossinteticamente ativa – *sunflecks*, que chegam na superfície das áreas de fitofisionomias distintas, foi realizada em dois período do ano, inverno (Julho de 2016) e verão (Fevereiro de 2017)

Para realizar a medição foram distribuídos aleatoriamente 8 radiômetros pontuais (modelo PQS, PAR Sensor, marca Kipp&Zonen®) ao longo do gradiente fitofisionômico, sendo quatro na área floresta e quatro na área em regeneração. Os radiômetros utilizados foram previamente calibrados no LMEF e instalados a um metro de altura da superfície, em cima de estacas de madeira. Os radiômetros foram conectados a dataloggers CR10X e CR1000 da marca Campbell Scientific® alimentados por bateria 12V, cujo carregamento desta era mantido por meio de placa solar de 10W onde se programou coleta de dados a cada 5 segundos e registro de média a cada 1 minuto (Figura 7).

A partir de observação direta na área em regeneração e de acompanhamento do boletim meteorológico diário fornecido pelo Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), durante os meses de medição, foram selecionados 10 dias de céu claro para a realização da coleta de dados, sendo 5 dias no inverno (07, 10, 25, 26 e 27 de julho de 2016) e 5 dias no verão (17,18,19, 23 e 24 de fevereiro de 2017).

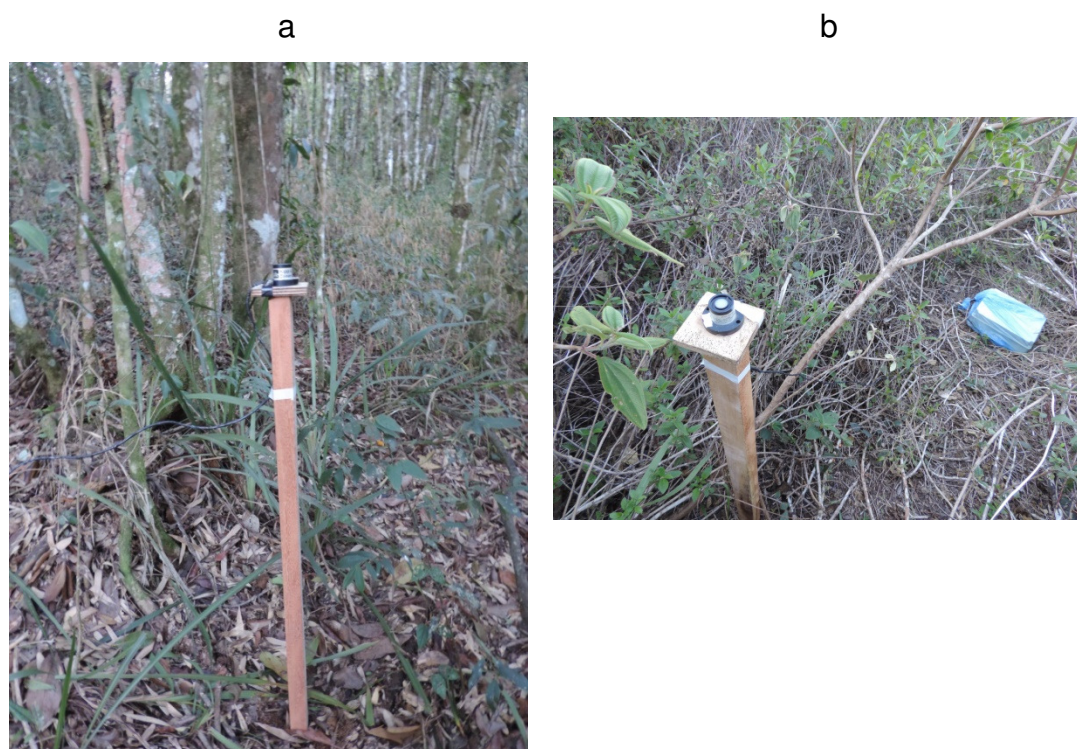


Figura 7 – Radiômetros instalados na área floresta (a) e na área em regeneração (b), a um metro de altura do solo, conectados a dataloggers, com a finalidade de medir picos de radiação fotossinteticamente ativa (*sunflecks*), em julho de 2016 (inverno) e fevereiro de 2017 (verão), no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

No momento do primeiro período de coleta (inverno, julho de 2016), a cada troca de posição dos sensores marcou-se o local, a fim de posicioná-los no mesmo local quando do segundo período de coleta (verão, fevereiro de 2017). Ao final do experimento os dados foram organizados em planilha eletrônica e efetuado estudo de distribuição dos picos de RFA para cada ecossistema e para os dois períodos do estudo (inverno e verão).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos na estação meteorológica instalada na área aberta adjacente, observa-se que ao longo do ano experimental a área de estudo apresentou uma característica de sazonalidade estacional típica, o que era esperado uma vez que a radiação no topo da atmosfera (R_0) varia entre $40 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ a $24 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na região (Figura 8).

Ao longo do ano o mês que apresentou em média maior radiação global (R_s) ($23,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) foi Janeiro de 2017, enquanto o menor valor para R_s ($8,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) foi registrado em Junho de 2016. A RFA teve em média o maior valor registrado ($10,1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em Fevereiro de 2016 e o menor ($3,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em Junho de 2016.

O mês de Fevereiro de 2016 apresentou em média a maior temperatura do ar média ($20,3^\circ\text{C}$), com a maior máxima ($27,6^\circ\text{C}$) e mínima ($15,2^\circ\text{C}$), enquanto Junho de 2016 registrou em média a menor temperatura do ar média ($13,6^\circ\text{C}$), a menor máxima ($17,8^\circ\text{C}$) e a menor mínima ($10,2^\circ\text{C}$).

O maior valor registrado em média para DPV foi no mês de Fevereiro de 2016 ($0,69 \text{ kPa}$), enquanto o mês de Novembro de 2016 apresentou a menor média de DPV ($0,30 \text{ kPa}$).

O regime pluviométrico ao longo do ano totalizou $1.405,7 \text{ mm}$ de chuva, no entanto a chuva se distribuiu de forma concentrada principalmente nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2016. Estes meses concentraram juntos 66% da chuva em relação ao total do ano, sendo que em Dezembro de 2016 choveu $471,7 \text{ mm}$ (maior registro mensal) e Julho de 2016 foi o mês de menor registro de precipitação (15 mm).

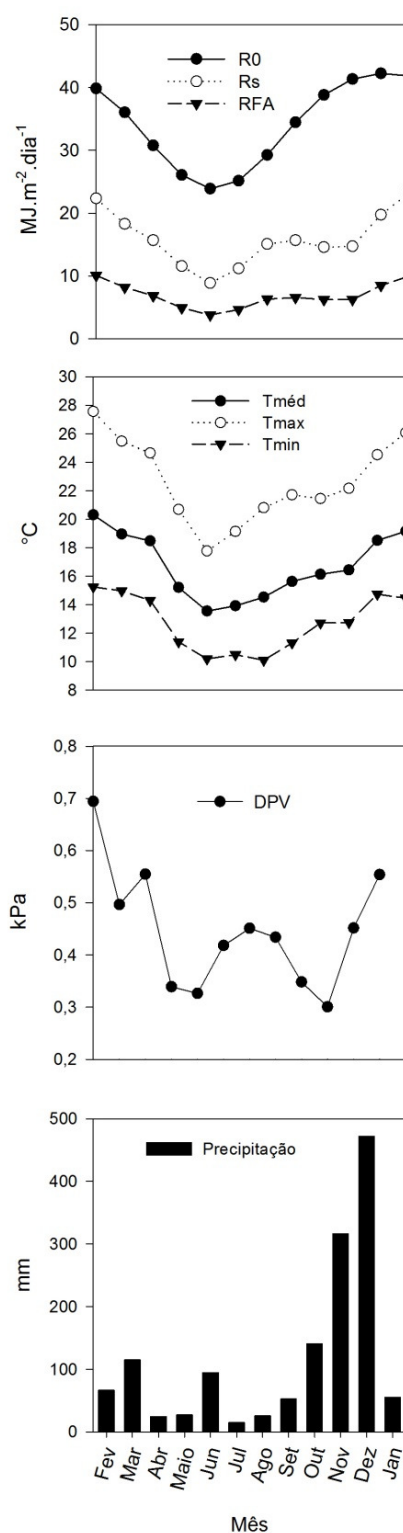


Figura 8 – Caracterização meteorológica da área de estudo entre Fevereiro de 2016 e Janeiro de 2017. (a) Radiação no topo da atmosfera (R_0), radiação global (R_s) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA). (b) Temperatura do ar média ($T_{\text{méd}}$), máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}). (c) Déficit de pressão de vapor (DPV). (d) Precipitação. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Ressalta-se que o início da pesquisa se deu em um momento em que o estado do Espírito Santo atravessava um período de dois anos de baixa pluviosidade em seu território. De acordo com o trabalho de Vervloet (2016) que realizou análise histórica de dados de precipitação (30 anos) para verificar a estiagem do biênio 2014/2015, o estado do Espírito Santo, segundo o autor, possui um ciclo de 4 a 7 anos de aumento das chuvas intercalados com períodos de diminuição da precipitação. Isto ajuda a explicar a baixa pluviosidade registrada no fim do verão de 2016, data de início da pesquisa.

5.1. CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA PRÓXIMA AO SOLO EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE.

5.1.1. Saldo de radiação (Sr) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

Conforme os dados obtidos ao longo do período da pesquisa observa-se que a área floresta, que possui uma fitofisionomia com dossel mais fechado provoca uma maior atenuação da radiação solar em comparação a área em regeneração, tendo em vista que os valores médios tanto do saldo de radiação (Sr) quanto da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram bem menores (Tabela 3).

Tabela 2 – Média anual do saldo de radiação (Sr) e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), referentes aos valores medidos entre Fev/2016 a Jan/2017, em dois ecossistemas de altitude, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil.

| | Área floresta | Área em regeneração | Valor p |
|--|-------------------|---------------------|---------|
| Sr ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) | 0,64 ^b | 6,1 ^a | <0.0001 |
| RFA ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) | 0,38 ^b | 3,78 ^a | <0.0001 |

Letras diferentes na mesma linha indicam significância a 1% de probabilidade pelo teste t.

Esta atenuação da radiação provocada pela floresta pode ser explicada pelo fato de que quando atinge o dossel de um ecossistema, a radiação pode ser transmitida, refletida ou absorvida, sendo que a estrutura do ecossistema influencia estes três fatores, que se complementam (Bonan, 2008).

As características do dossel como: o índice de área foliar, a arquitetura e o arranjo das copas das árvores, a distribuição de espécies, o estágio sucessional, a deciduidade das folhas e a cor das folhas que compõe o dossel determinam a quantidade de radiação que vai ser interceptadas pelas copas das árvores e absorvidas para o desenvolvimento dos processos fisiológicos, influenciando assim na quantidade de radiação transmitida até a superfície. Ou seja, quanto mais denso for o dossel de uma floresta, menos radiação atinge a superfície (Sentelhas e Nascimento, 2003).

Esta atenuação se torna evidente quando se analisa a relação entre os valores médios diários do saldo de radiação e da radiação fotossinteticamente ativa, obtidos na área floresta e na área em regeneração (Figura 9).

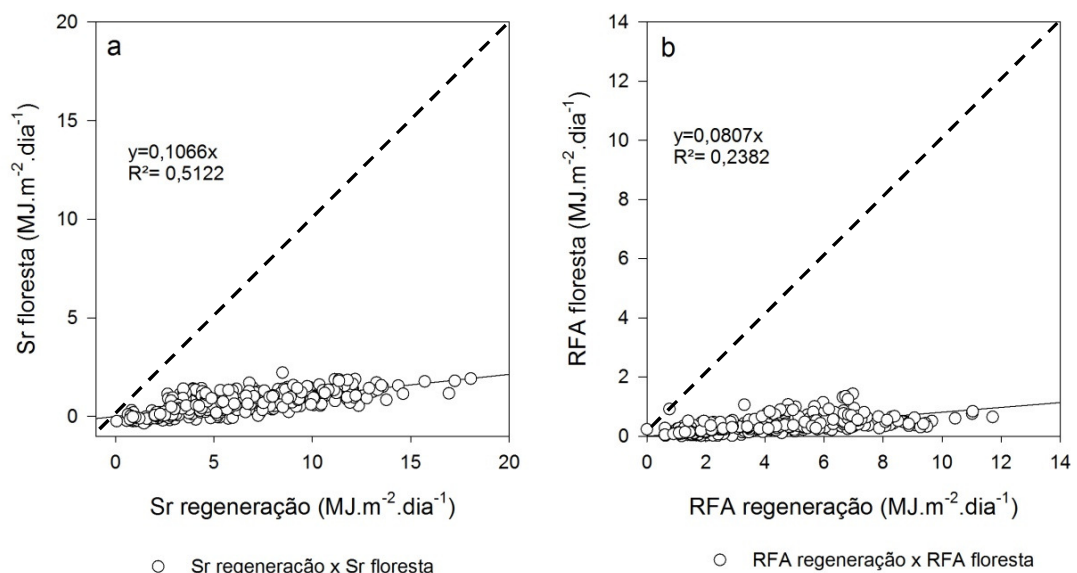


Figura 9 – Análise de regressão dos dados da média diária de saldo de radiação (a) e da RFA (b) obtidos na área floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017, no Parque Estadual Forno Grande, ES, Brasil. Fonte: o autor.

De acordo com o coeficiente angular das retas de regressão, observa-se que o Sr na floresta sofre uma redução de aproximadamente 89% e a RFA de aproximadamente 92%, em relação a área em regeneração. Segundo Hardwick et al (2015) a atenuação da radiação provocada por um dossel denso pode atingir até 95% em relação à quantidade de radiação recebida no topo do dossel.

No entanto, da mesma forma que o dossel da floresta atenua os efeitos da radiação de onda curta que incide durante o dia, a noite ele passa a ter papel fundamental na manutenção da radiação de onda longa no sistema (Geiger, 1965).

Este efeito atenuador de radiação durante o dia e mantenedor de energia durante a noite, desempenhado pelo dossel da floresta, pode ser observado quando se compara os dados médios diários ao longo do ano do saldo de radiação no período diurno e noturno obtidos nas duas áreas de fitofisionomias diferentes (Figura 10).

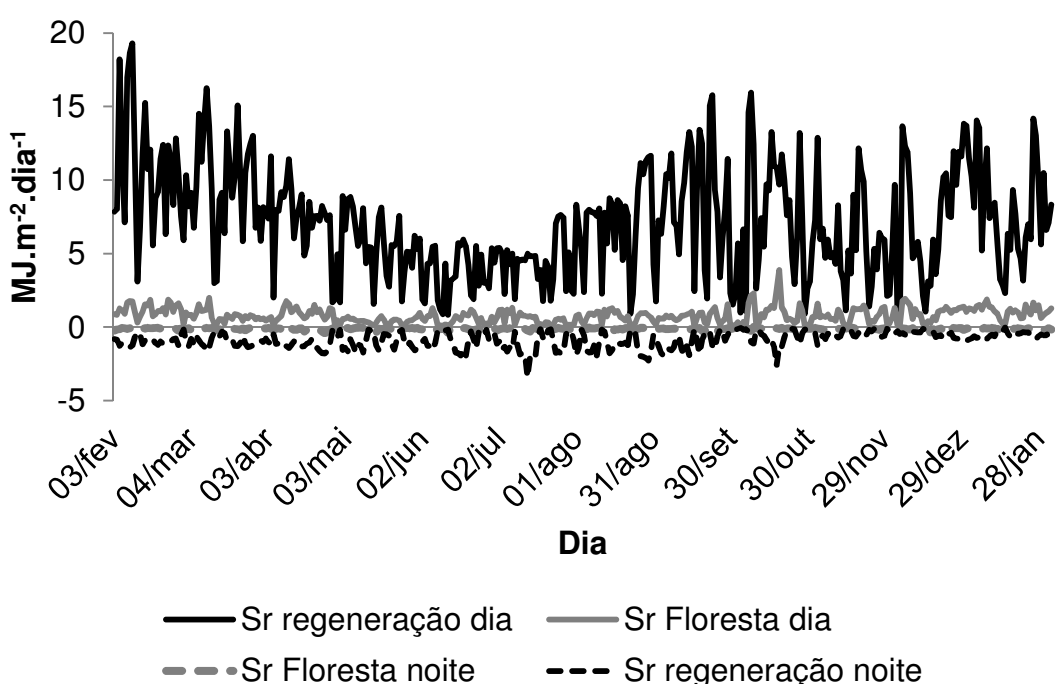


Figura 10 – Média diária do saldo de radiação (Sr), no período diurno e noturno, medidos na floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

O dossel mais aberto da área em regeneração permite uma maior incidência da radiação na superfície, elevando o balanço de onda curta durante o dia, o que influencia num maior saldo de radiação em comparação com a floresta. À noite, sem a proteção de um dossel mais fechado, o saldo de radiação na área em regeneração se torna menor do que na floresta, pois a radiação emitida pela superfície não encontra obstáculos para se manter no sistema. Desta forma, nota-se que entre o período diurno e noturno o saldo de

radiação na floresta oscila bem menos do que na área em regeneração mantendo-se próximo a zero, revelando que o balanço energético dentro da floresta de altitude estudada segue o gradiente fitofisionômico floresta-área em regeneração.

Esta diferença no saldo de radiação provocado pela fitofisionomia da vegetação também foi observado por Santos et al. (2014) que compararam as condições microclimáticas em uma floresta tropical e uma área de pastagem e encontraram um saldo de radiação menor na pastagem em até 10%, ocasionado pelo aumento da reflexão que faz com que o balanço de onda curta seja diminuído.

Moura (2007) estudou a radiação solar fora de uma floresta tropical e ao nível do dossel, a 15 metros do solo. O saldo de radiação foi apenas 20% do total encontrado no topo do dossel. O autor verificou ainda que no período diurno o saldo de radiação teve um decréscimo ainda maior evidenciando o papel da atenuação da radiação provocada pelo dossel da floresta.

Em uma floresta de eucalipto localizada no nordeste da Índia, Kallarackal e Somen (1997) observaram que o saldo de radiação e o déficit de pressão de vapor controla a condutância estomática e concluíram que nos períodos secos o eucalipto possui uma maior eficiência no uso da água no solo.

Como visto, dentro do espectro da radiação solar, as plantas para realizar o processo fotossintético absorvem mais radiação na faixa de comprimento de onda entre 0,4 μmol e 0,7 μmol , por isso sendo esta faixa chamada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Portanto, é importante estudar a variação e a disponibilidade ao longo do tempo da RFA, pois ela é fundamental no estabelecimento de espécies dentro do ecossistema.

Em um estudo envolvendo dinâmica de clareiras numa floresta tropical na Costa Rica, Chazdon e Fetcher (1984), concluíram que de toda a radiação que incide na floresta, clareiras grandes com 400m² de área recebem 20-35% de radiação fotossinteticamente ativa, clareiras pequenas com 200m² de área 9% e o ambiente embaixo do dossel apenas 2%.

De acordo com estudo realizado por Motzer (2005) durante um ano em uma floresta de altitude no Equador, com objetivo de estudar padrão espaço-

temporal de variáveis microclimáticas ao longo do dossel, o autor verificou que abaixo do dossel, a 4m acima da superfície do solo, incidiu em média apenas 5,5% da radiação registrada em uma estação fora da floresta.

Andrade et al (2014), examinando a evolução temporal da radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta ombrófila aberta no estado de Alagoas, Brasil, encontraram uma redução de 93% da RFA, em média anual, desde do topo do dossel até a superfície da floresta.

Mesmo em ecossistemas agrícolas, com produções consorciadas entre culturas, observa-se atenuação da radiação provocada pela cobertura de um componente arbóreo. Pezzopane et al (2005), em trabalho desenvolvido em cultivo de café consorciado com banana “prata anã”, encontraram uma redução de 16% nos valores diários do saldo de radiação em relação ao cultivo de café em pleno sol.

Desta forma, considera-se que o local onde a floresta de altitude apresenta uma fitofisionomia com um dossel fechado a radiação solar é atenuada durante o dia e a mesma mantém a energia durante a noite; e a área em regeneração apresenta um dossel aberto suscetível a um maior fluxo de radiação ao longo do dia.

De acordo com os dados obtidos nota-se uma variação sazonal no regime de radiação solar, que é mais marcante quando observado os resultados da área em regeneração, devido a sua maior variação ao longo do ano. Isto era esperado, pois a área em regeneração por ter um dossel mais aberto possui características que se assemelha à área aberta sofrendo assim influência dos efeitos da sazonalidade provocada pelo movimento aparente do sol ao longo do ano (Figura 11).

O dossel mais fechado da área floresta serve como fator atenuador da radiação de onda curta durante o dia e mantenedor de radiação de onda longa a noite, não apresenta amplitude tão marcante ao longo do ano para o saldo de radiação e RFA e, com isso a variação sazonal não se mostra aparente no gráfico.

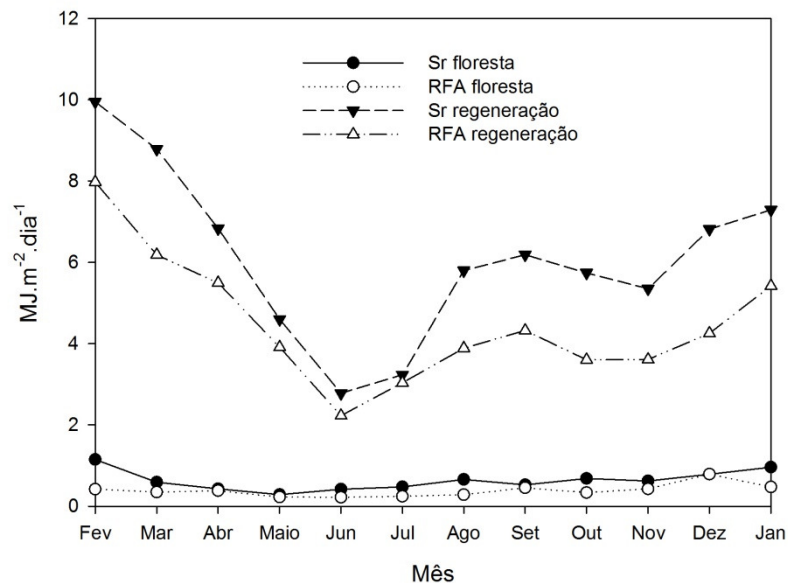


Figura 11 – Variação sazonal do saldo de radiação (Sr) e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), a partir da média mensal entre valores diários, obtidos na área floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Biudes et al. (2015) no estado de Mato Grosso, Brasil, estudaram os efeitos da sazonalidade na variabilidade espacial do microclima ao longo de três Biomas brasileiro (Cerrado, Pantanal, floresta Amazônica). De acordo com os autores, na estação chuvosa há um decaimento da radiação de até 97% provocada pela nebulosidade, enquanto na estação seca a diminuição da intensidade da radiação está associada à presença de aerossóis provenientes de queimadas frequentes nesta época do ano na região.

Para caracterizar a incidência da RFA ao longo do dia, em cada mês do ano, e melhorar a compreensão da variação sazonal no regime de radiação na floresta e na área em regeneração elaborou-se um plano com a variação temporal da RFA que é apresentada nas Figuras 12.

Observa-se que na floresta a RFA variou entre 0,2 e 273 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e o período do dia mais intenso de incidência foi entre as 9h e 11h, na maior parte do ano (Março a Outubro 2016) (Figura 12a). Como a área de estudo está voltada para leste os picos de radiação são mais significativo ao amanhecer, quando o ângulo zenital é alto propiciando uma maior penetração da RFA dentro da floresta. No período da tarde observa-se uma forte redução

da RFA, devido ao topoclima e à posição geográfica onde se situa a área de estudo.

No verão, o movimento aparente do sol descreve um percurso cujo ângulo zenital possui uma maior variação durante o dia e, por conseguinte a duração do dia é mais longa, isto explica o fato de que em Fevereiro de 2016, no final de Dezembro de 2016 e em Janeiro de 2017 a maior incidência de RFA predominou no período vespertino entre 14h e 15h.

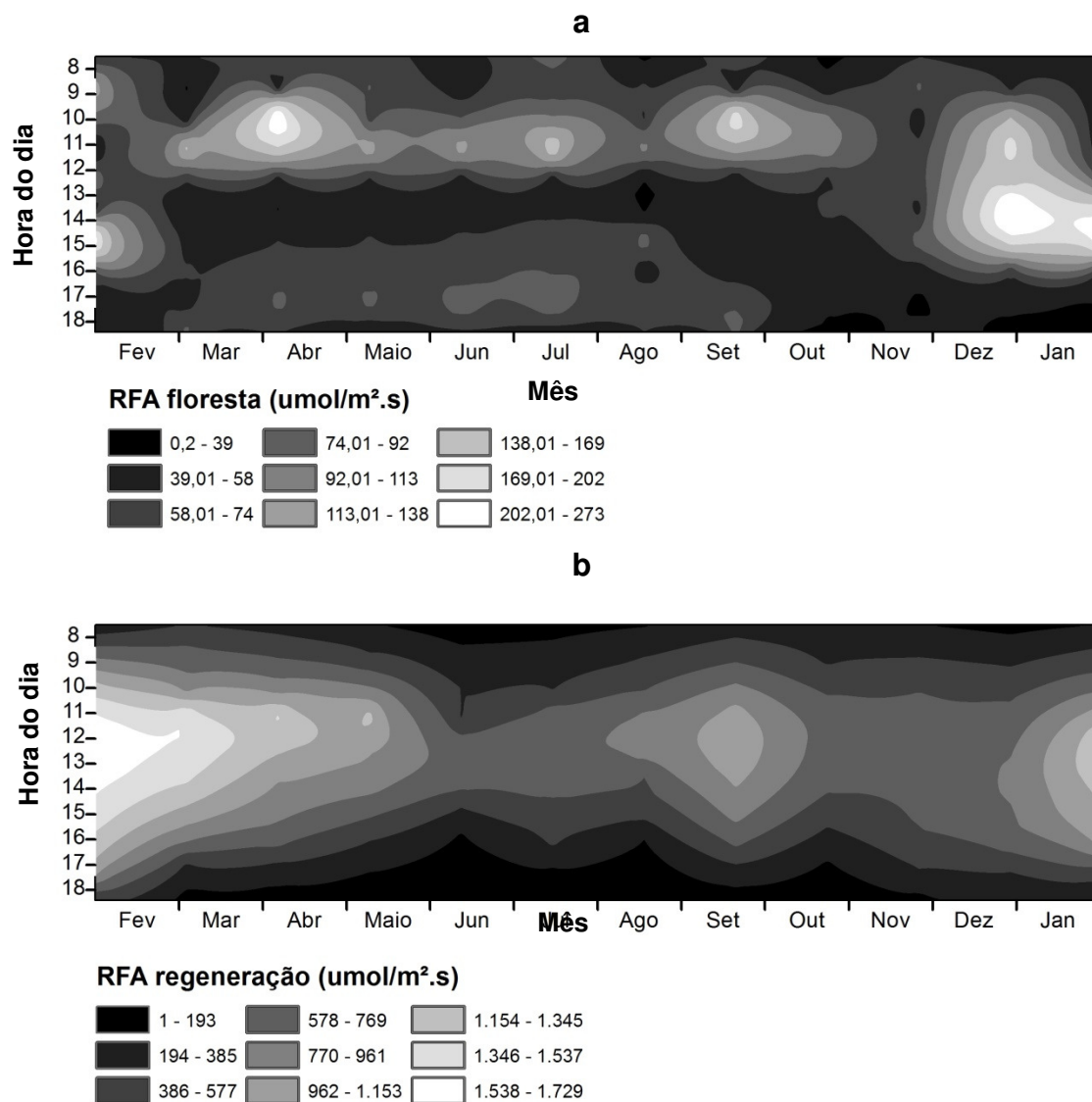


Figura 12 – Variação temporal das médias horárias mensais da RFA na floresta (a) e na área em regeneração (b). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Enquanto que na área com fitofisionomia mais fechada a RFA se distribui ao longo do ano de forma menos intensa e em picos principalmente no

período diurno, na área em regeneração a RFA se mostra mais intensa e distribuída de forma mais homogênea ao longo do dia e do ano.

De acordo com a Figura 12b, a RFA na área em regeneração variou entre 1 e 1.729 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. O efeito do topoclima no regime de radiação na área de estudo se torna evidente, pois se percebe uma assimetria na figura entre o período diurno e vespertino. Observa-se neste ambiente que os maiores valores de RFA foi registrado entre 11h e 13h em Fevereiro de 2016 e, nesta faixa de horário, a intensidade de radiação vai se extinguindo ao longo do ano, não atingindo a mesma intensidade, inclusive no verão subsequente (Dezembro de 2016 e Janeiro de 2017). Vale recordar que em Outubro, Novembro e Dezembro de 2016 se registraram os maiores valores pluviométricos, fazendo com que a nebulosidade afetasse o regime de radiação na área em regeneração.

Diante desta característica distinta entre as duas fitofisionomias estudadas, infere-se que o local com dossel mais fechado possui um ambiente com alta competição por luz, podendo determinar a distribuição e o estabelecimento de espécies abaixo do dossel, enquanto na área em regeneração como a disponibilidade de radiação é mais abundante ao longo do ano, cria-se um ambiente onde o estabelecimento de determinada espécie esteja voltada para suportar um maior fluxo de radiação que atinge a superfície.

Segundo Chazdon et al. (1995) espécies que se desenvolvem em ambientes onde há um maior fluxo de radiação tendem há possuir uma capacidade fotossintética maior, uma maior condutância estomática, aumento no ponto de saturação de luz e um aumento na capacidade de se proteger da fotoinibição por meio do mecanismo do ciclo das xantofilas.

Por outro lado, espécies tolerantes a sombra apresentam comportamento diferenciado em relação à quantidade de radiação disponível. Quando submetidas a condições de média e alta radiação, estas espécies apresentam uma menor variação na resposta fisiológicas, em comparação a espécies pioneiras, devido ao seu condicionamento a tolerar baixas taxas de radiação (Ribeiro et al, 2005).

Como visto na Figura 12b, além da cobertura promovida pelo dossel, que exerce papel atenuador da radiação, a nebulosidade associada ao regime pluviométrico registrado no período da pesquisa, também foi determinante no

regime de radiação na área de estudo, principalmente na área em regeneração.

Na tentativa de caracterizar a influência da nebulosidade nas variáveis microclimáticas nos dois ecossistemas foi realizada a análise dos dados de média horária de dois dias típicos (dia nublado e dia de céu claro) em duas estações do ano – verão (Fevereiro de 2016) e inverno (Agosto de 2016).

De acordo com os dados de radiação global (R_s), registrados na estação da área adjacente, para os dias selecionados observa-se o efeito da sazonalidade provocado pelo movimento aparente do sol, que está relacionado com a latitude onde se encontra a área de estudo. No verão observa-se tanto para os dias de céu claro como para os dias nublados uma maior incidência de radiação solar, pois o percurso do sol no céu é menos inclinado do que no inverno (Figuras 13, 14, 15 e 16).

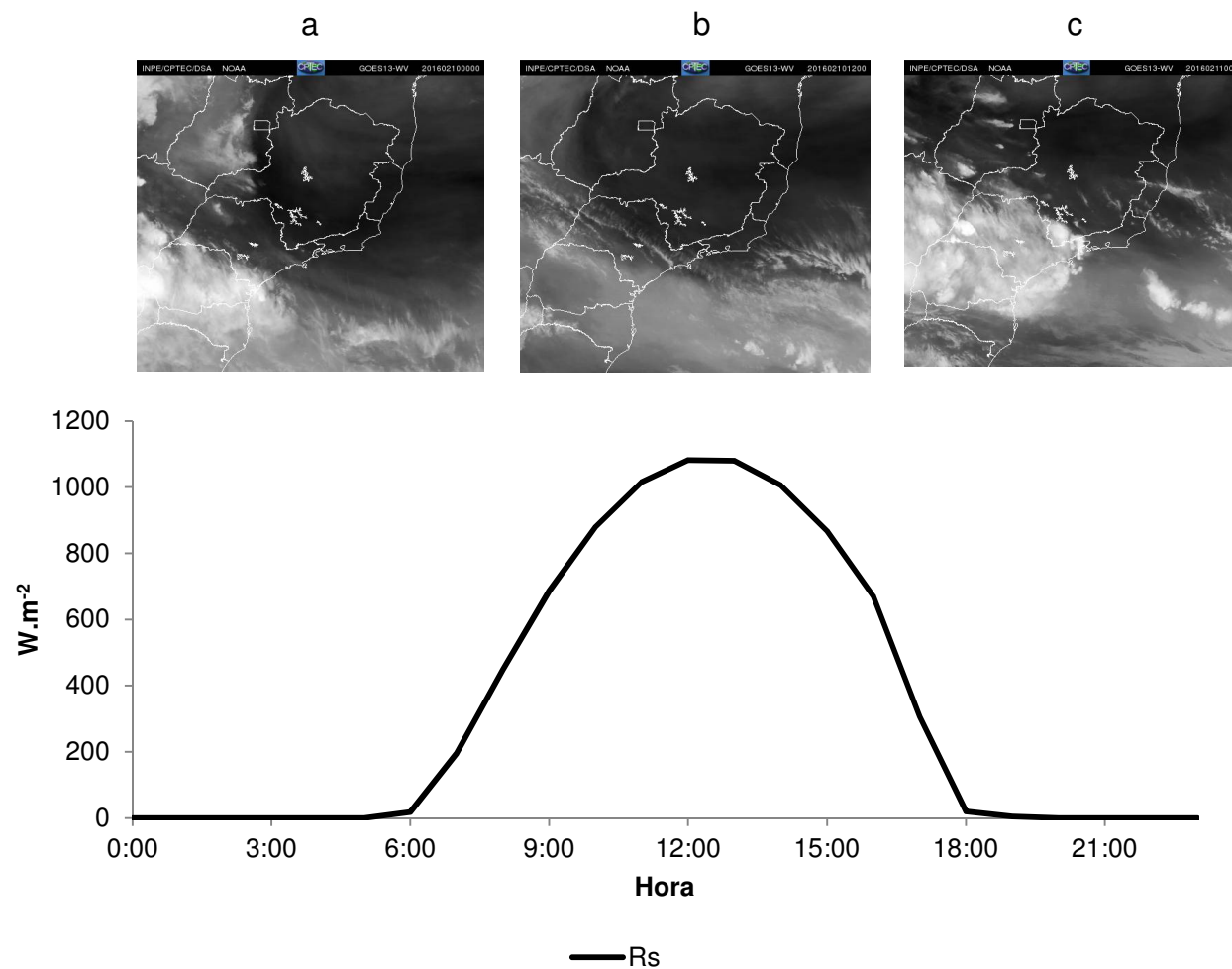


Figura 13 – Imagens do satélite GOES (fonte: INPE) referente ao dia 10/02/2016, obtidos às 00:00 h (a), 12:00 (b) e 24:00 h (c) e média horária da radiação global (R_s) medida ao longo do dia 10/02/2016, obtida na área aberta ao lado da área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

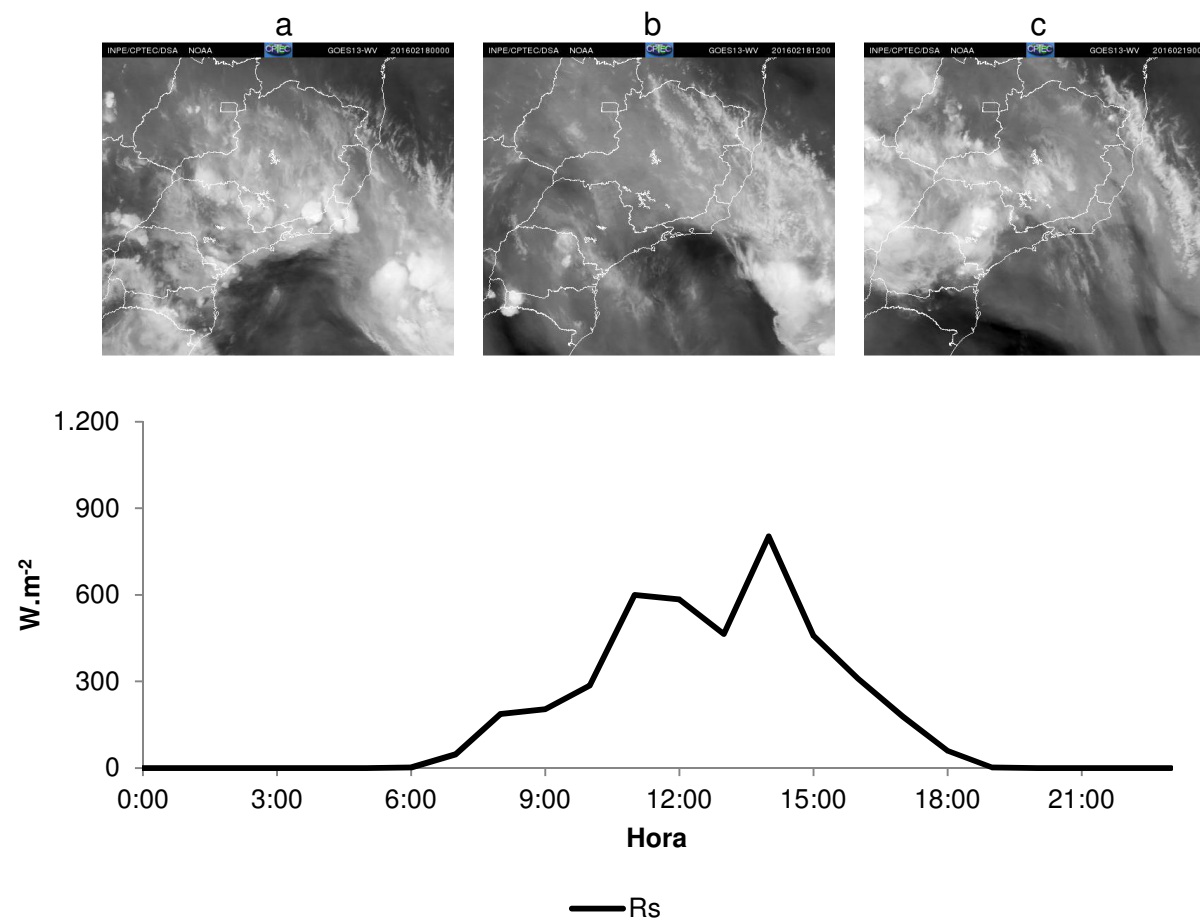


Figura 14 - Imagens do satélite GOES (fonte: INPE) referente ao dia 18/02/2016, obtidos às 00:00 h (a), 12:00 (b) e 24:00 h (c) e média horária da radiação global (R_s) medida ao longo do dia 18/02/2016, obtida na área aberta ao lado da área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

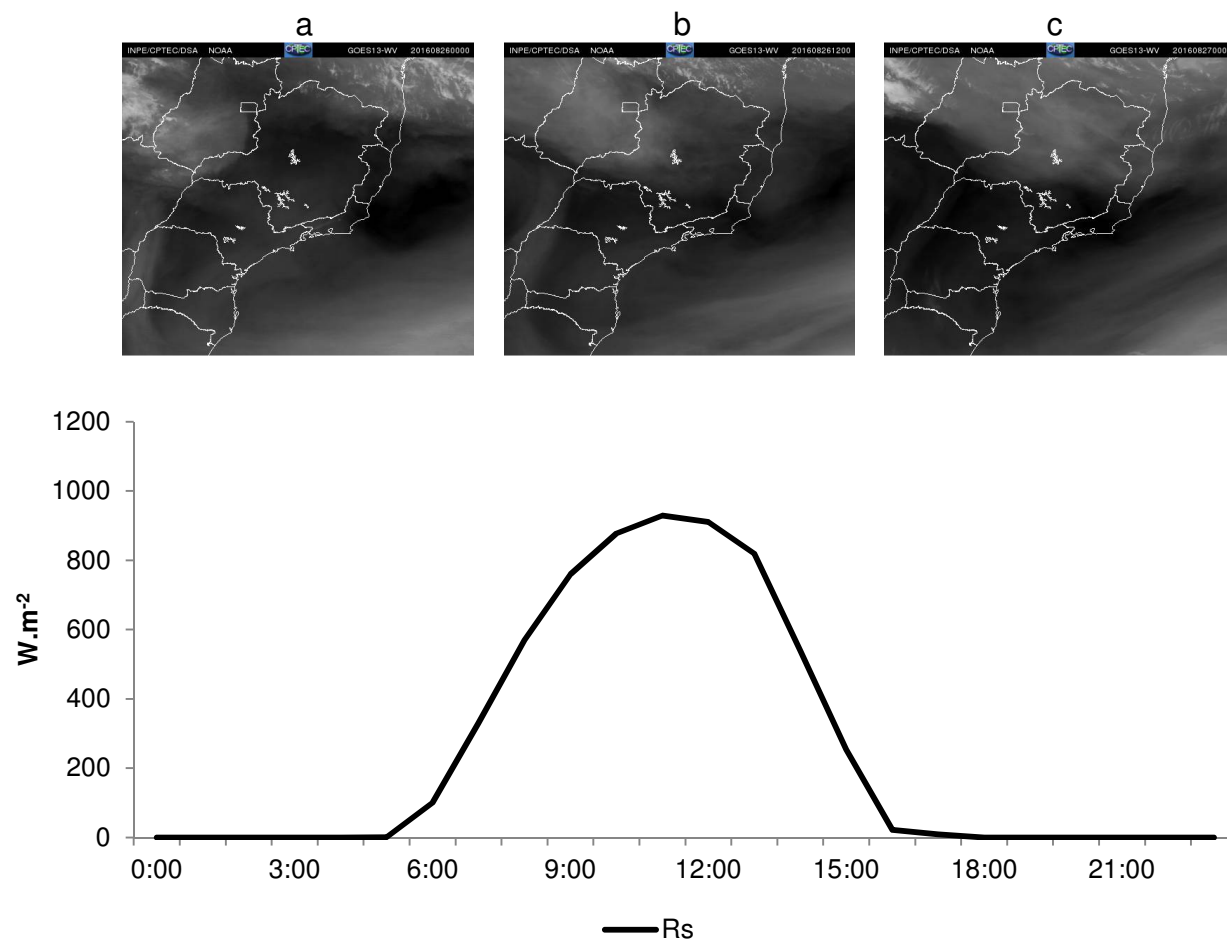


Figura 15 - Imagens do satélite GOES (fonte: INPE) referente ao dia 26/08/2016, obtidos às 00:00 h (a), 12:00 h (b) e 24:00 h (c) e média horária da radiação global (R_s) medida ao longo do dia 26/08/2016, obtida na área aberta ao lado da área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

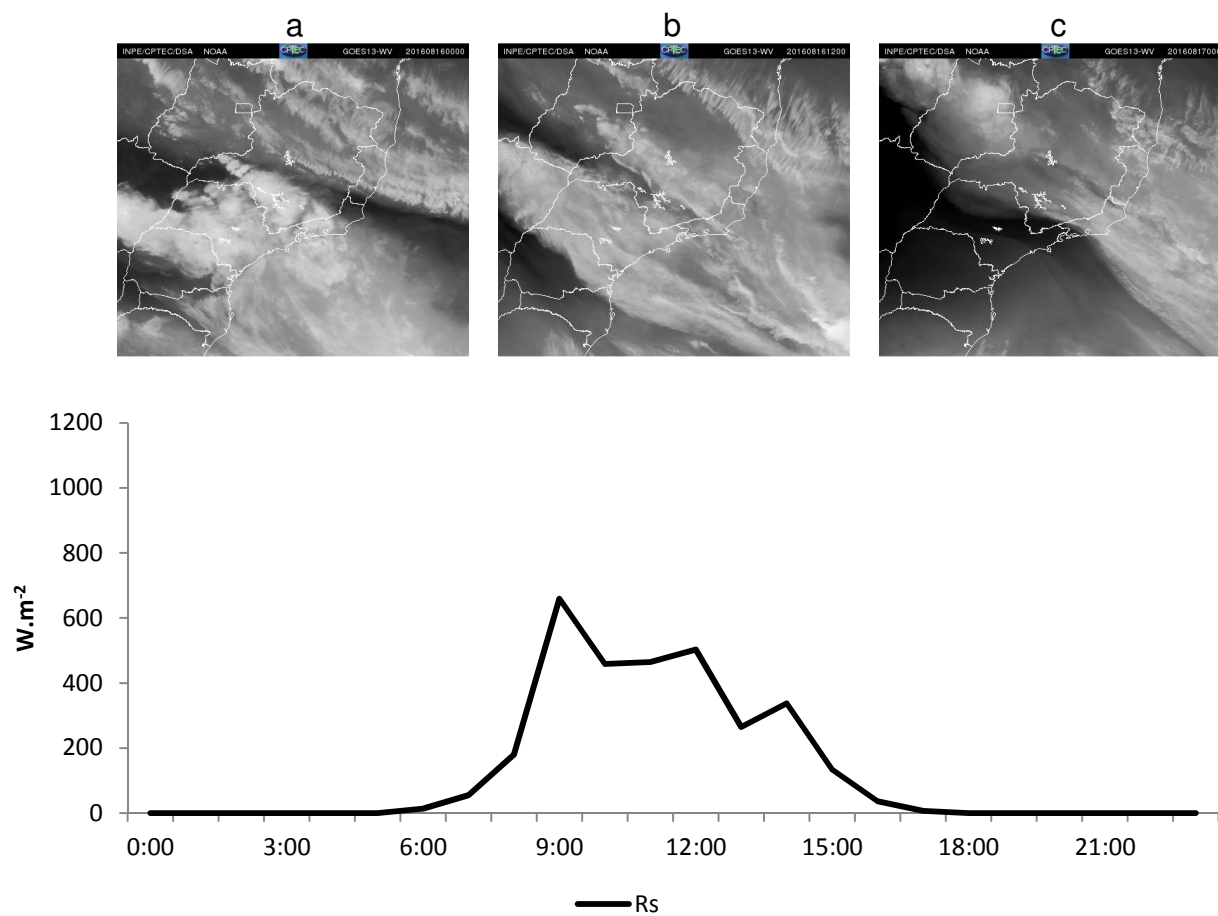


Figura 16 - Imagens do satélite GOES (fonte: INPE) referente ao dia 16/08/2016, obtidos às 00:00 h (a), 12:00 (b) e 24:00 h (c) e média horária da radiação global (R_s) medida ao longo do dia 16/08/2016, obtida na área aberta ao lado da área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Conforme as médias horárias de saldo de radiação (S_r) obtidas para os dias em análise, independente das condições meteorológicas e da estação do ano, observa-se que na área em regeneração há uma maior variação do S_r ao longo do dia em comparação com a floresta (Figura 17).

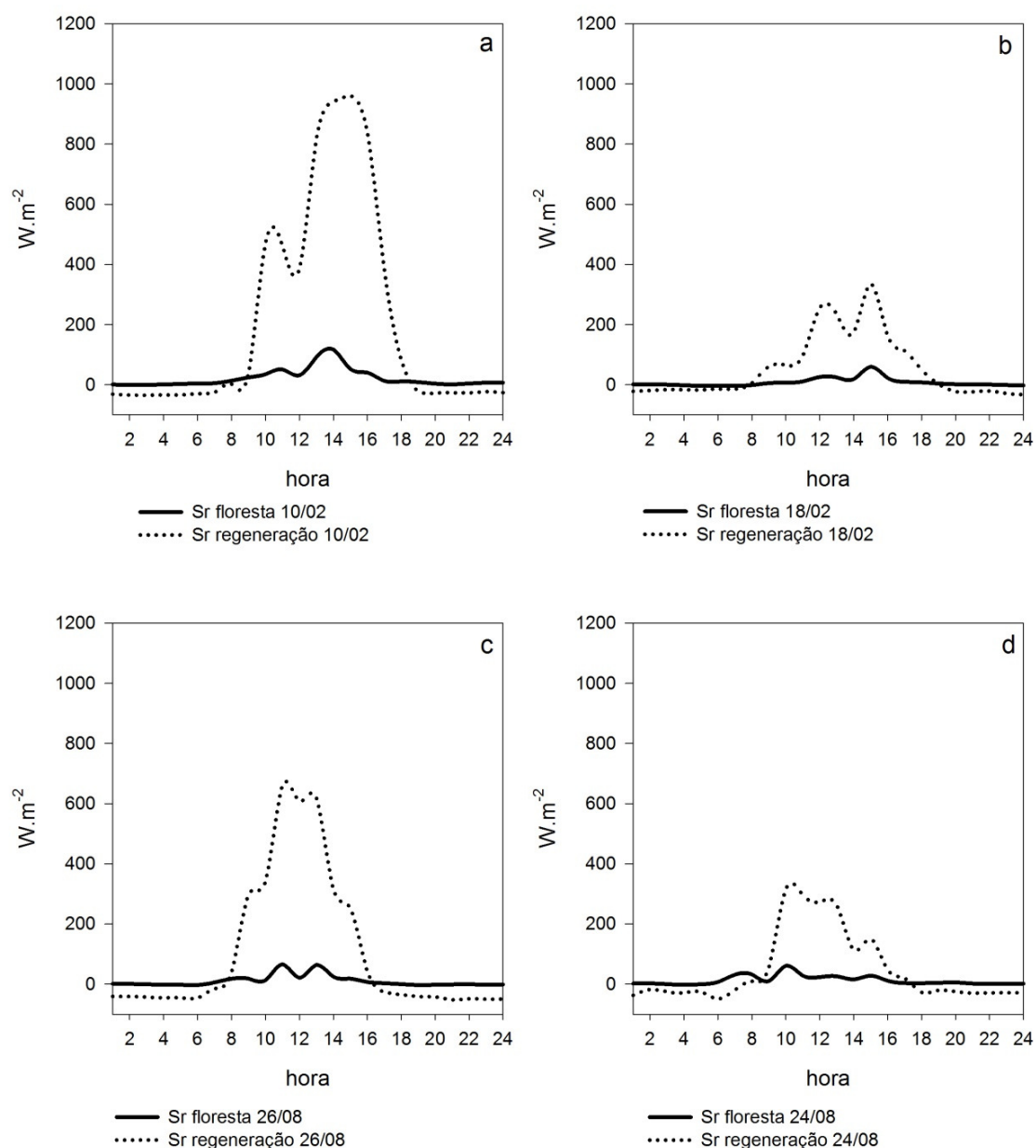


Figura 17 – Média horária do saldo de radiação (S_r) medida na área floresta e na área em regeneração, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

No verão em condições de céu claro (10/02/2016) o saldo de radiação na floresta ultrapassou 150 W.m^{-2} e na área em regeneração chegou próximo a 1.000 W.m^{-2} . Em condições de nebulosidade (18/02/2016) observa-se uma redução significativa nesta variável, quando na floresta o Sr atingiu próximo a 50 W.m^{-2} e, principalmente na área em regeneração, quando o saldo de radiação não ultrapassou 350 W.m^{-2} (Figuras 17a e 17b), evidenciando a influência da nebulosidade no balanço de radiação próximo a superfície.

No inverno esta redução no Sr associada à nebulosidade é menos pronunciada, devido ao decréscimo da incidência de radiação solar provocada pela sazonalidade, condicionada à latitude onde a área de estudo se encontra. Nesta época, na floresta o Sr não ultrapassou 100 W.m^{-2} tanto em condição de céu claro (26/08/2016) como no dia nublado (24/08/2016). Ao passo que na área em regeneração houve um decréscimo de 700 W.m^{-2} em condições de céu claro para aproximadamente 350 W.m^{-2} . Na floresta observa-se que a variação no saldo de radiação se dá durante o período diurno (picos de Sr nos gráficos da Figura 17), enquanto no período noturno não se observa variação aparente no gráfico.

Conforme as médias horárias da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) obtidas para os dias em análise, independente das condições meteorológicas e da estação do ano observa-se que na área floresta a incidência da RFA é significativamente menor ao longo do dia do que na área em regeneração. No verão em condições de céu claro a RFA na floresta atingiu $500 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, enquanto na área em regeneração ultrapassou $2.000 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Em condição de presença de nebulosidade a RFA na floresta não passou de $200 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, enquanto na área em regeneração atingiu em torno de $1.300 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figuras 18a e 18b).

No inverno, devido ao efeito da sazonalidade, registra-se um decréscimo nos valores de RFA tanto em condições de céu claro, quando a RFA na floresta atingiu próximo a $200 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e na área em regeneração $1.800 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ como sob efeito da nebulosidade, quando na floresta registrou-se picos de RFA pouco acima de $100 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, enquanto na área em regeneração ultrapassou $400 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

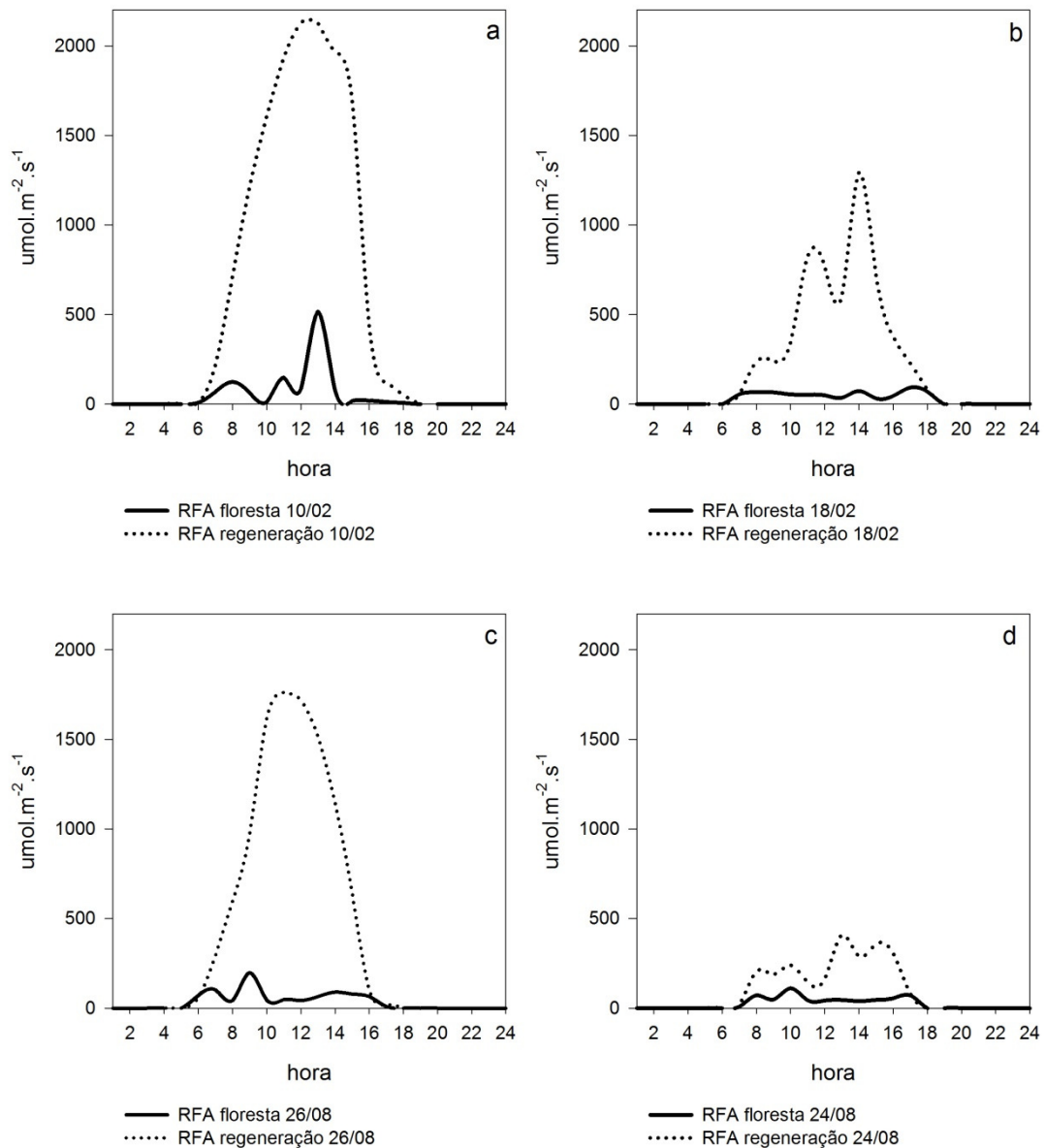


Figura 18 - Média horária da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida na área floresta e na área em regeneração, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Como discutido anteriormente, o dossel da floresta por se mais fechado promove um efeito atenuador da RFA, devido à maior absorção desta radiação que serve para os processos fisiológicos das espécies que o compõe. Este efeito se torna evidente quando se analisa os dados referentes aos dias de céu claro. Enquanto a curva que representa a RFA obtida na área em regeneração

faz lembrar a curva da radiação global (R_s) obtida na área aberta, na floresta a RFA se revela em picos ao longo do dia.

Desta forma, considerando os quatro dias selecionados, o balanço de energia e a disponibilidade da RFA na floresta são influenciados pela característica do dossel e pela presença de nuvens, ao passo que na área em regeneração esta é regida principalmente pela presença de nuvens na atmosfera.

5.1.2. Temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (DPV)

Dentre as variáveis microclimáticas, a temperatura e a umidade são as que melhor expressam o resultado do regime de radiação dentro de um ecossistema. A quantidade de energia, em forma de radiação, que incide na superfície de uma área, determina a variação da temperatura do ar e da umidade ao longo do tempo.

De acordo com os dados apresentados na tabela 4 e na Figura 19, observa-se que a temperatura do ar média na floresta é menor do que na área em regeneração em 1 °C. No entanto, a temperatura do ar máxima na floresta é 3,7 °C menor e a temperatura do ar mínima não apresentou diferença entre uma fitofisionomia e outra. Com isso, a amplitude térmica controlada principalmente pelos valores de temperatura máxima, foi significativamente menor na floresta em comparação a área em regeneração.

Embora em média as duas fitofisionomias não apresentem diferença para o déficit de pressão de vapor, o DPV máximo, o DPV mínimo e a amplitude do DPV revela que o interior da floresta é um ambiente com menor demanda atmosférica em comparação com a área em regeneração. O que era esperado, pois, quanto maior a temperatura do ar, maior o DPV (Tabela 4 e Figura 19).

Estes resultados corroboram com o trabalho sobre efeito de borda desenvolvido por Kunert et al. (2015), no qual avaliaram os efeitos da fragmentação de uma floresta tropical em variáveis microclimáticas. Ao longo do gradiente borda-interior da floresta os autores encontraram um significativo decréscimo da temperatura do ar e no DPV, concluindo que o incremento na

intensidade da radiação na borda do fragmento acaba por criar condições microclimáticas diferentes que se estendem em direção ao interior da floresta.

Tabela 3 – Médias anuais da temperatura do ar e da superfície referentes aos valores medidos entre Fev/2016 a Jan/2017, em duas fitofisionomias de uma floresta de altitude, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Onde: $T_{\text{média}}$ = Temperatura média; T_{max} = Temperatura máxima; T_{min} = Temperatura mínima; Amp. Térmica = Amplitude térmica; $T_{\text{supmédia}}$ = Temperatura superfície média; T_{supmax} = Temperatura superfície máxima; T_{supmin} = Temperatura superfície mínima; Amp. T_{sup} = Amplitude térmica da temperatura da superfície; DPV = déficit de pressão de vapor; DPV_{max} = DPV máximo; DPV_{min} = DPV mínimo; Amp. DPV = Amplitude DPV. Fonte: o autor.

| | Área floresta | Área regeneração | Valor p |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|----------|
| $T_{\text{média}}$ (°C) | 16.0 ^b | 17.0 ^a | <0.0001 |
| T_{max} (°C) | 20.5 ^b | 24.2 ^a | <0.0001 |
| T_{min} (°C) | 12.7 ^{ns} | 12.3 ^{ns} | 0.056772 |
| Amp. Térmica (°C) | 7.7 ^b | 11.8 ^a | <0.0001 |
| $\text{DPV}_{\text{média}}$ (kPa) | 0,39 ^{ns} | 0,41 ^{ns} | 0,013837 |
| DPV_{max} (kPa) | 0,91 ^b | 1,43 ^a | <0,0001 |
| DPV_{min} (kPa) | 0,22 ^a | 0,16 ^b | <0,0001 |
| Amp. DPV (kPa) | 0,85 ^b | 1,29 ^a | <0,0001 |

Letras diferentes nas linhas indicam significância a 1% de probabilidade pelo teste t. ns – não significativo.

Como a floresta possui um dossel mais denso e fechado, a radiação solar durante o dia não atinge a superfície com a mesma intensidade do que na área em regeneração, que possui um dossel mais aberto, o que faz com que a temperatura máxima na floresta seja inferior. Durante a noite o dossel da floresta mantém a energia no sistema aquecendo o ar, fazendo com que a temperatura mínima não decaia tanto em comparação com o observado na área em regeneração.

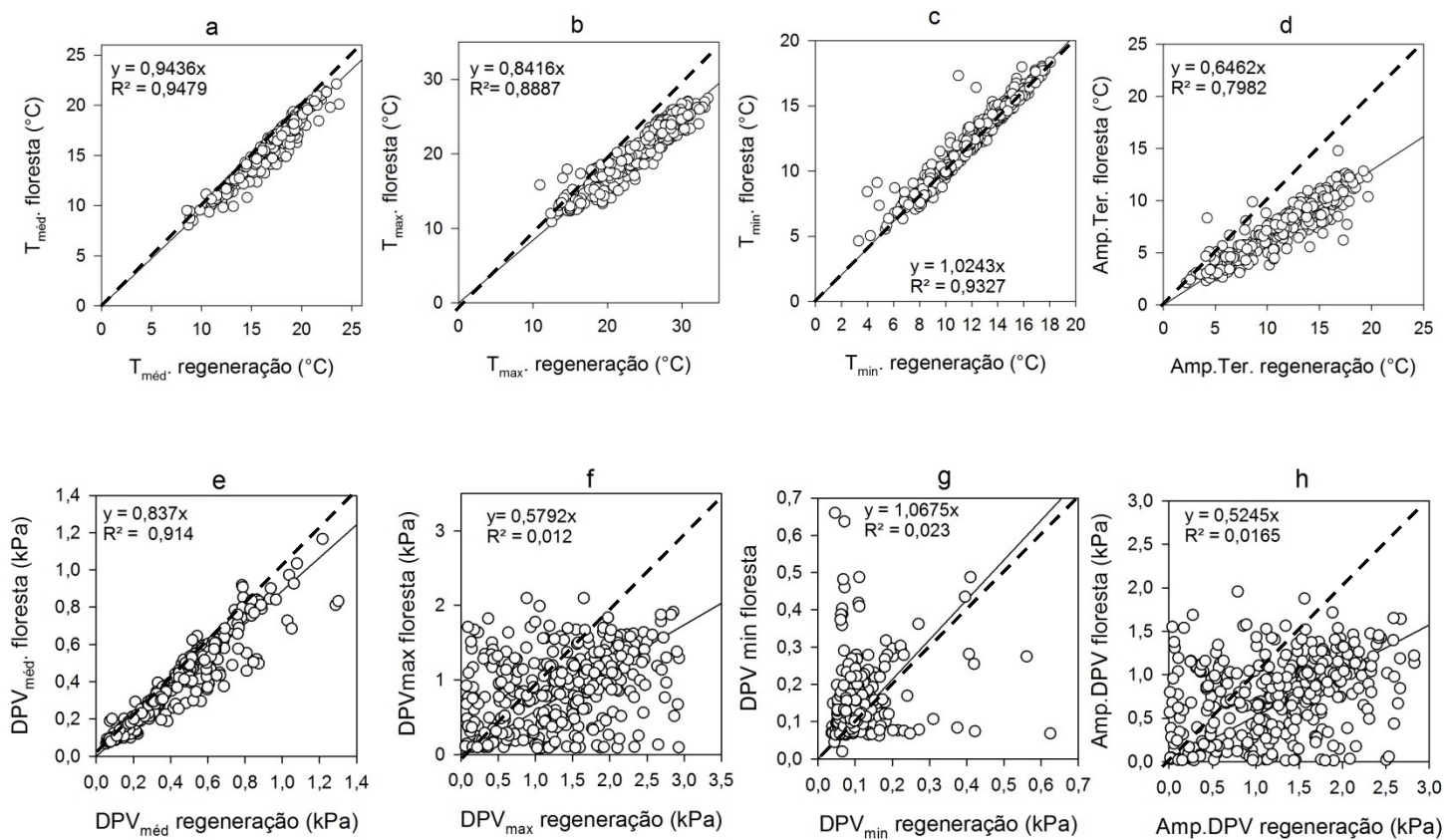


Figura 19 - Análise de regressão dos dados da média diária da temperatura do ar e DPV obtidos na floresta e na área em regeneração, entre Feb/2016 e Jan/2017. (a) Temperatura do ar média. (b) Temperatura do ar máxima. (c) Temperatura do ar mínima. (d) Amplitude térmica. (e) DPV médio. (f) DPV máximo. (g) DPV mínimo. (h) Amplitude do DPV. Parque Estadual Forno Grande, Castelo ES, Brasil. Fonte: o autor.

No processo fotossintético a planta por meio da evapotranspiração troca vapor d'água por gás carbônico (CO_2) necessário ao seu crescimento. A evapotranspiração é dada pelo gradiente de potencial hídrico explicado pelo *continuum* solo-planta-atmosfera e, a sua intensidade é influenciada pelas condições do ambiente, principalmente a disponibilidade de água no solo e demanda evaporativa da atmosfera (DPV). Assim, se havendo disponibilidade de água no solo, quanto maior o DPV maior será a capacidade fotossintética da planta, no entanto com baixa disponibilidade de água no solo a planta necessita fechar os estômatos, a fim de diminuir a perda de água para a atmosfera, o que compromete a assimilação de CO_2 (Berry et al, 2016).

Rodrigues et al. (2011) em estudo envolvendo respostas fisiológicas às condições microclimáticas, desenvolvido em uma floresta de mangue, observaram que a condutância estomática é fortemente relacionado com o DPV, independente da época do ano (seca e chuvosa).

Para verificar o efeito da sazonalidade na temperatura do ar e no DPV na área de estudo, apresenta-se na Figura 20, gráficos com os valores da média mensal destas variáveis. Nos períodos de verão (Fevereiro de 2016 – Março de 2016 e Dezembro de 2016 – Janeiro de 2017) se registrou os maiores valores de temperatura do ar (média, máxima e mínima), enquanto que no inverno (Junho a Agosto de 2016) foram registrados os menores valores.

No gráfico é possível mais uma vez observar a forte influência da temperatura máxima na amplitude térmica. As curvas correspondentes à temperatura mínima (Figura 20c) da floresta e da área em regeneração seguem próximas uma da outra e em alguns pontos se igualam, como em Outubro de 2016. Ao contrário das curvas da temperatura máxima (Figura 20b) e amplitude térmica (Figura 20d) que permitem observar uma diferença significativa entre as duas fitofisionomias.

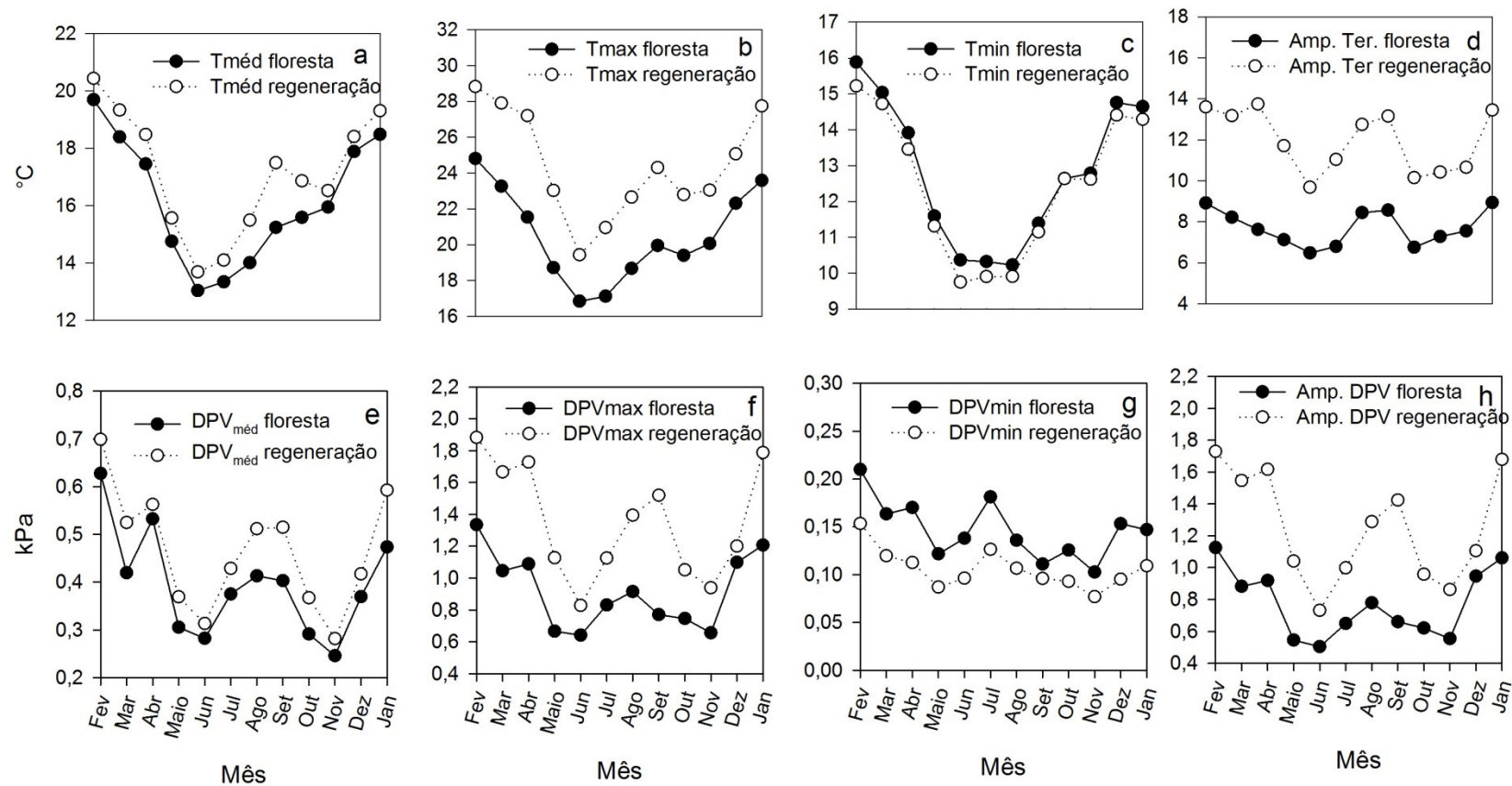


Figura 20 – Médias mensais da temperatura do ar e DPV obtidos na floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017. (a) Temperatura do ar média. (b) Temperatura do ar máxima. (c) Temperatura do ar mínima. (d) Amplitude térmica. (e) DPV médio. (f) DPV máximo. (g) DPV mínimo. (h) Amplitude do DPV. Parque Estadual Forno Grande, Castelo ES, Brasil. Fonte: o autor.

Observa-se nos gráficos da Figura 20 a inter-relação entre a temperatura do ar e o DPV. Tanto na floresta quanto na área em regeneração, nos períodos quentes do ano é quando se nota maiores valores de DPV (Fevereiro de 2016 e Janeiro de 2017). Seguindo este raciocínio, no período entre Outubro e Dezembro de 2016, época de elevação da temperatura esperava-se uma taxa maior de DPV, no entanto o que se nota é o menor valor de DPV registrado. Isto se deve ao regime pluviométrico registrado neste período que aumentou a umidade relativa da atmosfera e diminuiu a temperatura do ar.

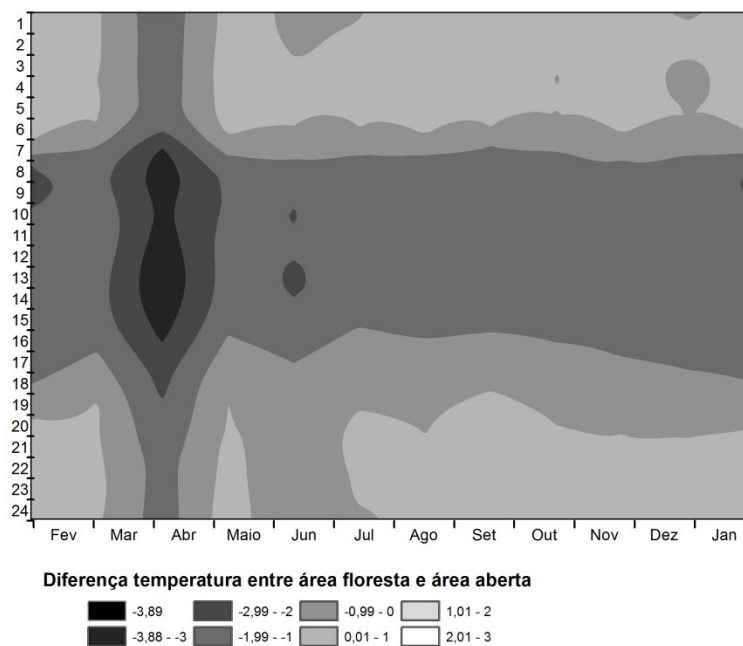
Outra análise envolvendo a influência da umidade relativa no DPV que se pode fazer é quando se observa o período mais frio do ano (Junho a Agosto de 2016). Acompanhando a curva, observa-se que os valores de DPV decrescem de Fevereiro a Junho de 2016 e a partir deste mês até Setembro de 2016 observa-se um aumento significativo nas suas taxas. Este acréscimo percebido no DPV está relacionado com a época mais seca do ano, que mesmo em baixas temperaturas eleva o déficit de pressão de vapor na atmosfera, sendo esta elevação mais acentuada na área em regeneração, evidenciando o papel mantenedor da umidade que a floresta possui.

De posse dos dados de temperatura do ar média obtidos na estação meteorológica instalada na área aberta adjacente e, no intuito de melhorar a compreensão do efeito da sazonalidade na temperatura do ar na floresta e na área em regeneração, e de observar a influencia da estrutura da vegetação na variação da temperatura do ar, foi elaborado um plano com a variação temporal das médias horárias ao longo do ano, das diferenças de temperatura do ar entre os ecossistemas estudado e a área aberta adjacente (Figura 21).

Desta forma, na Figura 21 quanto menor for a diferença de temperatura do ar significa que a área aberta está mais quente do que o ecossistema em questão.

De acordo com as Figuras 21a e 21b, observa-se que na floresta a diferença de temperatura em relação à área aberta é maior, pois variou de -3,89 a 3°C, enquanto que na área em regeneração a variação foi entre -1,48 e 3°C, mostrando que como o campo possui características estruturais de um dossel aberto, que permite um maior fluxo de radiação, a temperatura do ar neste ambiente ao longo do ano se aproxima ao registrado na área aberta adjacente

a



b

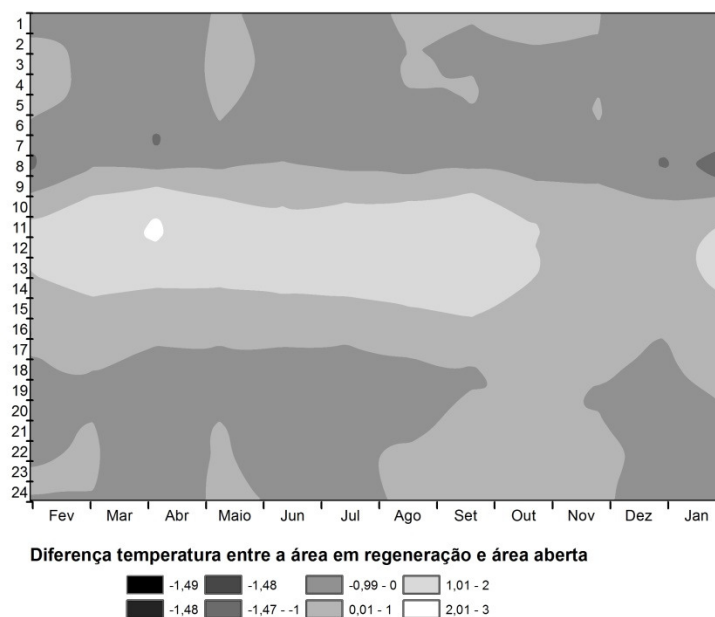


Figura 21 - Distribuição temporal das médias horárias mensais da diferença entre a temperatura do ar média da floresta e área aberta (a) e da área em regeneração e área aberta (b). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Observa-se que no período noturno, quando há emissão de radiação de onda longa pelo planeta Terra para a atmosfera, a floresta se mantém mais quente do que a área aberta e; durante o dia, quando a atmosfera é aquecida

pela radiação solar, a atenuação da radiação faz com que a temperatura abaixo do dossel não se eleve, a ponto do ambiente ser mais frio do que na área aberta adjacente em até 3,89°C, como em Março de 2016.

A área em regeneração, por possuir características que se assemelha a área aberta adjacente, esta variação diária da temperatura do ar se inverte. À noite, sem a proteção de um dossel mais fechado, este ambiente transfere a energia para atmosfera fazendo com que a temperatura próxima à superfície abaixe, inclusive a ponto de ficar mais frio do que a área aberta em até 1,48°C. Durante o dia, como a radiação atinge de forma mais intensa a área em regeneração em comparação a floresta, a temperatura do ar se eleva a ponto de ficar mais quente do que a área aberta em até 3°C.

Como visto anteriormente tanto a variação sazonal como a nebulosidade interferem no regime de radiação que incide na superfície terrestre, desta forma espera-se que a variação da temperatura do ar e do déficit de pressão de vapor seja diferente ao longo de um dia nublado em comparação a um dia de céu claro. Assim, de posse dos dados de temperatura do ar e DPV obtidos nos dias típicos, apresentados no tópico anterior, analisa-se a influência da sazonalidade e da nebulosidade na temperatura do ar e no DPV.

De acordo com as médias horárias de temperatura do ar média obtidas para os dias em análise, observa-se que há uma maior amplitude térmica ao longo do dia na área em regeneração do que na floresta (Figura 22).

No período diurno a temperatura do ar na área em regeneração é superior à registrada na floresta. No período noturno o comportamento se inverte e, com a transferência de energia da superfície para a atmosfera, a temperatura da floresta se torna superior. Mais uma vez é possível notar o efeito atenuador (durante o dia) e mantenedor (durante a noite) de energia que o dossel mais fechado da floresta exerce no ambiente.

Este efeito é mais nítido quando se observa o dia de céu claro no verão (Figura 22a). No período entre 8h e 19h a temperatura do ar na área em regeneração é superior a da floresta, sendo que na área em regeneração atinge valores superiores a 30°C e na floresta não ultrapassa 26°C. No entanto, a partir das 19h, com o dossel mais aberto, o fluxo radiativo na área em regeneração é mais intenso do que na floresta, fazendo com que sua temperatura às 22h fique em torno de 1°C mais baixo do que na floresta.

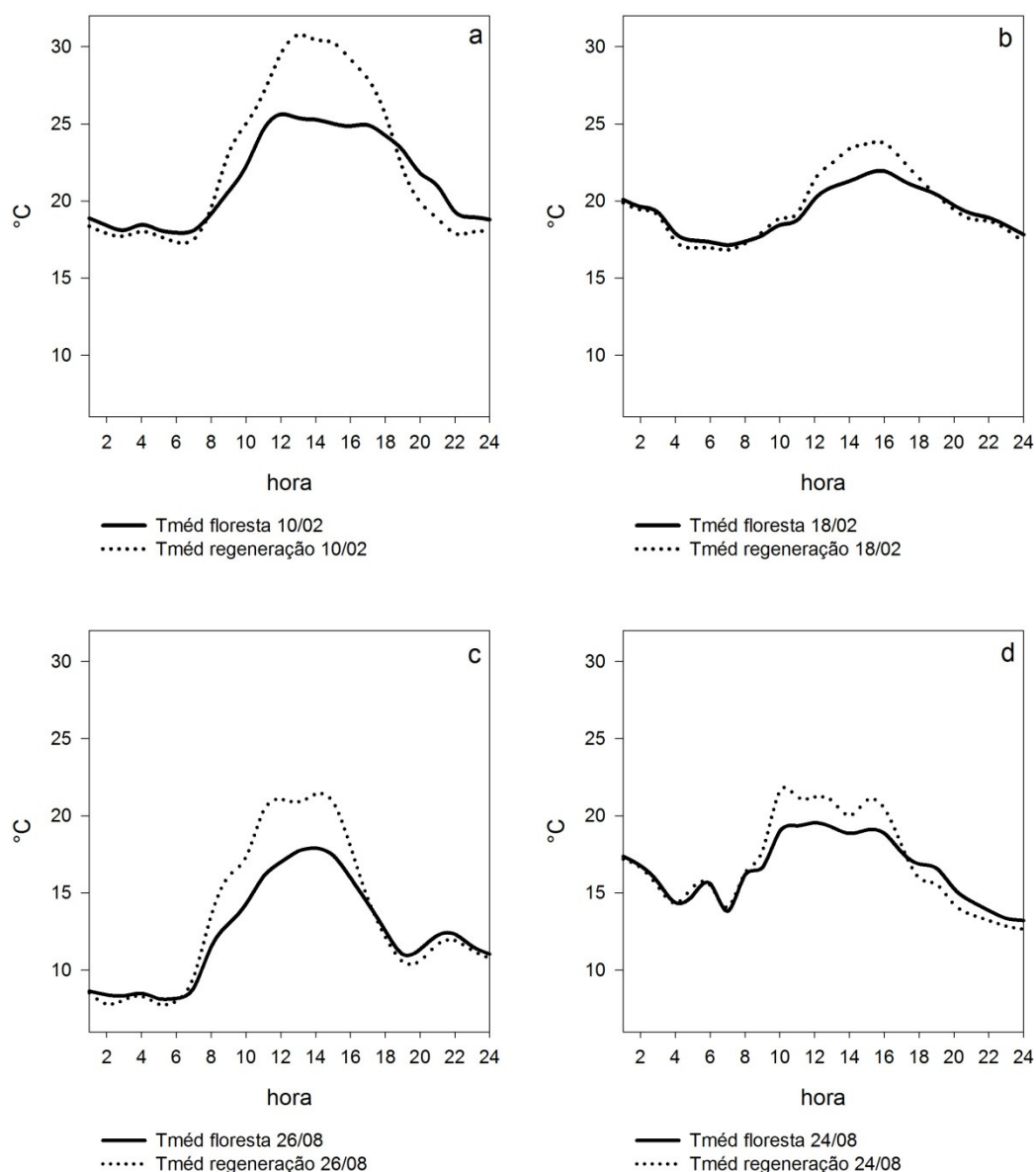


Figura 22 - Média horária da temperatura média ($T_{\text{méd}}$) medida na área floresta e na área em regeneração, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

No dia nublado de inverno (Figura 22d), observa-se que a sazonalidade influenciou no comportamento da temperatura ao longo do dia. Nota-se que a temperatura do ar durante o dia na área em regeneração foi superior à floresta das 8h às 17h, período mais curto que no verão. Isto se deve ao fotoperíodo, que durante a época de inverno é mais reduzido. Nesta faixa de horário, a temperatura do ar na área em regeneração atingiu 22 $^{\circ}\text{C}$ e na floresta não ultrapassou 20 $^{\circ}\text{C}$. Percebe-se que na madrugada deste dia (1h a 6h) a

nebulosidade presente na atmosfera permitiu que a temperatura do ar na área em regeneração se igualasse a temperatura do ar na floresta.

Analisando as Figuras 22c e 22d (inverno), observa-se que a nebulosidade mantém a temperatura do ar mais elevada, principalmente a noite. Enquanto no dia de céu claro a temperatura mínima registrada foi em torno de 8°C nas duas fitofisionomias, no dia nublado não ultrapassou 12°C.

Com isso é possível identificar que nos dias de verão, a nebulosidade provoca uma diminuição na temperatura máxima e no inverno a presença de nuvens na atmosfera faz elevar a temperatura mínima. Ou seja, a reflexão da radiação promovida pelas nuvens faz com que a temperatura máxima no verão seja diminuída. Por sua vez, no inverno com a diminuição da incidência da radiação provocada pela sazonalidade não se percebe a mesma diferença na temperatura máxima entre dias nublados e dias de céu claro. A diferença se percebe na temperatura mínima, tendo em vista que a nebulosidade mantém a energia na atmosfera fazendo com que ela se eleve.

De acordo com as médias horárias do déficit de pressão de vapor obtidas para os dias em análise, observa-se que a floresta é um ambiente com menor demanda atmosférica ao longo do dia do que na área em regeneração (Figura 23).

O DPV segue a mesma tendência da temperatura do ar. Nos períodos diurnos o DPV na área em regeneração é maior do que na floresta e nos períodos noturnos devido à temperatura do ar mais alta, a floresta apresenta DPV superior. O que era esperado, haja vista que o DPV é uma variável dependente da temperatura do ar.

Como no verão a incidência de radiação solar é mais intensa que faz aquecer a atmosfera, observa-se que no dia 10/02/2016 registrou os maiores valores de DPV, principalmente na área em regeneração que ultrapassou 2,5 kPa às 12:00 h, enquanto na floresta atingiu aproximadamente 2 kPa às 17 h. Este retardamento na elevação do DPV na floresta pode estar relacionado com o efeito atenuador da radiação do dossel que faz com que o aquecimento da atmosfera próxima a superfície se torne mais lenta retardando a elevação do DPV (Figura 23a).

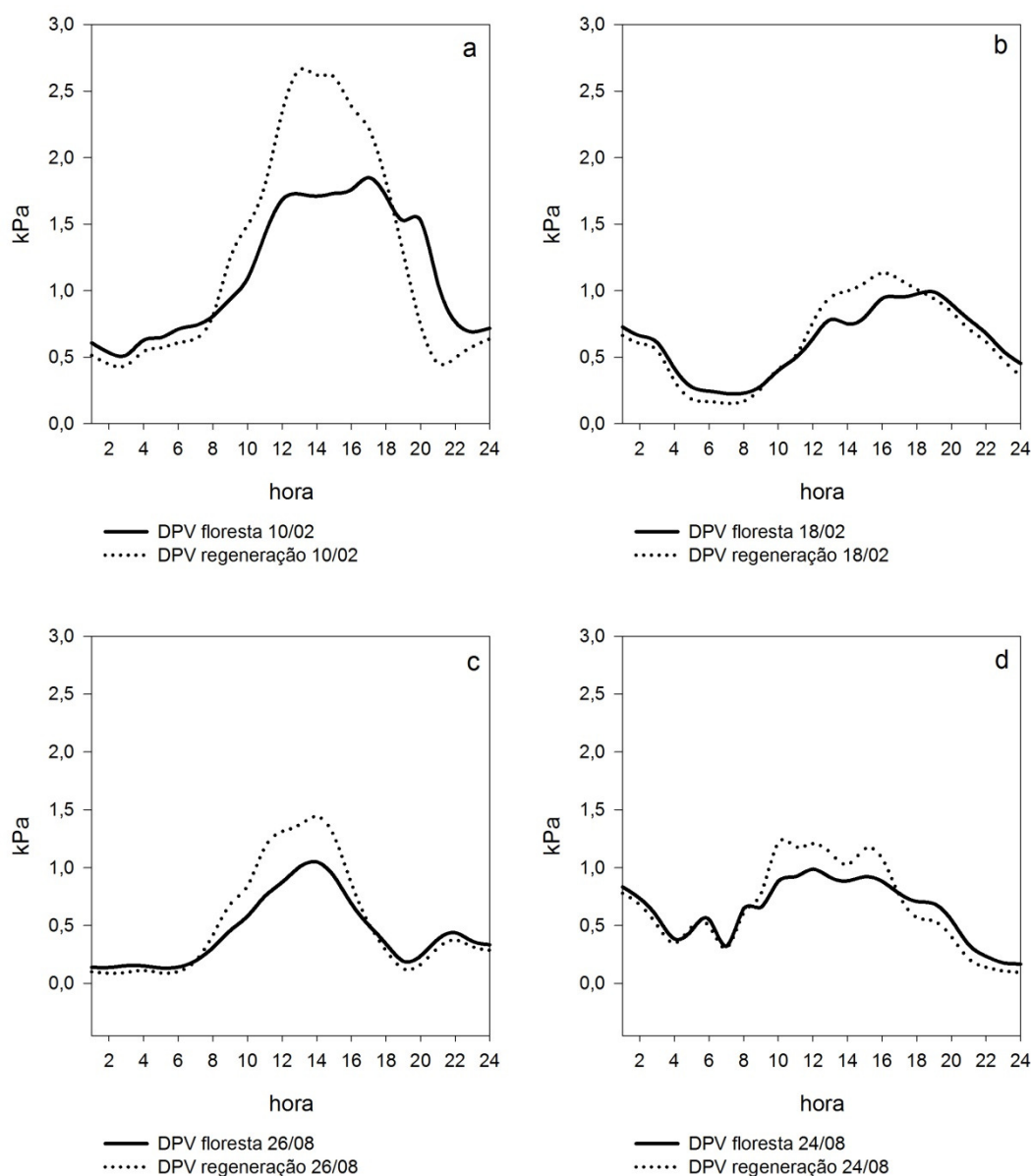


Figura 23 - Média horária do déficit de pressão de vapor (DPV) medida na área floresta e na área em regeneração, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

No inverno como a disponibilidade de radiação diminui por causa da variação sazonal, os valores máximos de DPV são mais baixos do que registrado para o verão. O que era esperado devido às menores temperaturas do ar registradas para a época. Observa-se que neste caso os picos de DPV da floresta e da área em regeneração se coincidem às 14 h. O retardamento da elevação do DPV na área em regeneração é provocado pela baixa disponibilidade de radiação, enquanto que a antecipação do pico na floresta pode estar relacionada com o movimento mais inclinado do sol ao longo do dia,

que faz com que mais radiação penetre abaixo do dossel aumentando a temperatura (Figura 23c).

Durante a noite como a floresta mantém mais energia a temperatura do ar é mais alta em comparação com a área em regeneração, refletindo numa maior demanda atmosférica.

Estes resultados são semelhantes ao estudo desenvolvido por Davies-Colley, Payne e Elswijk (2000) que observaram a influência da sazonalidade e das condições meteorológicas (céu claro e nublado) no controle da temperatura do ar e o DPV. Os autores encontraram uma diferença significativa para temperatura do ar e DPV entre uma floresta tropical e uma área de pastagem, concluindo que, próximo ao solo, a floresta possui um ambiente com uma menor flutuação da temperatura do ar e do DPV em comparação a pastagem, tornando-a mais fria e úmida ao longo dos dias.

5.1.3. Temperatura do solo

De acordo com Geiger (1965) próximo a superfície é que se observa de forma mais pronunciada os efeitos dos fenômenos que envolvem a troca de energia entre a atmosfera e a superfície.

Conforme a Tabela 5, observa-se que a temperatura da superfície da floresta é menor em comparação a área em regeneração em 0,9°C. No entanto, assim como observado com a temperatura do ar, no período diurno com um dossel mais aberto a área em regeneração permite uma maior incidência de radiação aquecendo a superfície do solo, fazendo com que a temperatura máxima na sua superfície seja 5,1° maior do que na superfície da floresta. À noite, sem o anteparo de um dossel mais denso, a superfície do solo da área em regeneração transfere mais energia para a atmosfera, fazendo com que a temperatura mínima na superfície do solo decaia tornando 0,9°C mais fria do que a superfície da floresta. Desta forma, nota-se uma diferença significativa na amplitude térmica entre os dois ecossistemas de 6,1 °C (Figura 24).

Tabela 4 – Média anual da temperatura da superfície, referentes aos valores medidos entre Fev/2016 a Jan/2017, em duas fitofisionomias de uma floresta de altitude, no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

| | Área floresta | Área em regeneração | Valor p |
|---------------------|-------------------|---------------------|---------|
| $T_{supméd}$ (°C) | 16.5 ^b | 17.4 ^a | <0.0001 |
| T_{supmax} (°C) | 21.7 ^b | 26.9 ^a | <0.0001 |
| T_{supmin} (°C) | 13.5 ^a | 12.6 ^b | <0.0001 |
| Amp. T_{sup} (°C) | 8.2 ^b | 14.3 ^a | <0.0001 |

Letras diferentes na mesma linha indicam significância a 1% de probabilidade pelo teste t.

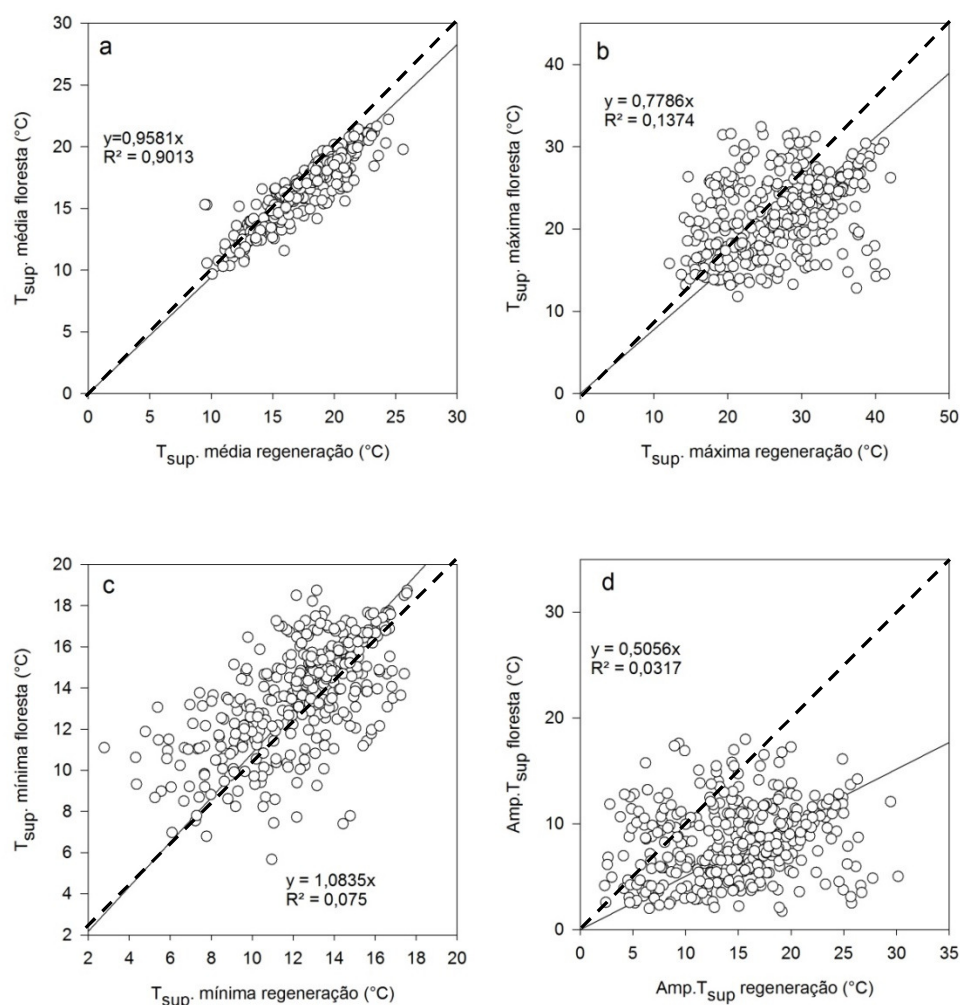


Figura 24 - Análise de regressão dos dados da média diária da temperatura da superfície obtidos na floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017. (a) Temperatura da superfície média. (b) Temperatura da superfície máxima. (c) Temperatura da superfície mínima. (d) Amplitude térmica da superfície. Parque Estadual Forno Grande, Castelo ES, Brasil. Fonte: o autor.

De acordo com a Figura 25, observa-se que a curva correspondente à temperatura da superfície acompanha a mesma tendência da variação sazonal da temperatura do ar, com verões quentes e invernos frios. Nota-se pela Figura 25a, que no mês mais frio do ano (Junho de 2016) a curva da temperatura da superfície da área em regeneração ultrapassou a curva referente à floresta. Neste caso é possível identificar o papel mantenedor de energia que a floresta desempenha, fazendo com que a temperatura oscile menos ao longo do ano dentro deste ambiente.

A medida que se ganha em profundidade e que se distancia da interface superfície-atmosfera, as características do solo passam a exercer um papel regulador da temperatura e a troca de energia é menos intensa.

Embora não tenham sido quantificadas as características físicas e químicas dos solos, é possível perceber nitidamente que o solo dos dois ecossistemas aqui estudado tem algumas feições distintas entre si, mesmo sendo uma área bem próxima a outra. A floresta de altitude possui solo profundo, menos arenoso e com maior deposição de serapilheira, ao contrário do solo na área em regeneração que é pouco profundo, com presença de afloramentos rochosos, mais arenoso e com baixa deposição de serapilheira.

A transferência de calor entre a atmosfera e o solo se dá por condução e as características do solo influenciam a capacidade deste solo em conduzir o calor que atravessa o meio.

Solos profundos, com maior teor de argila e matéria orgânica e mais úmido possuem uma capacidade menor em conduzir o calor em comparação àqueles solos pouco profundos, mais arenosos e com baixo teor de matéria orgânica e umidade. Diante disso, considera-se que o solo da floresta de altitude conduz o calor de forma mais lenta do que a área em regeneração.

Durante o dia a atmosfera aquecida pela radiação de onda curta provinda do sol transfere calor para o solo aquecendo-o. À noite a situação se inverte. A atmosfera é aquecida pela superfície terrestre que está mais quente. Com isso, a condição atmosférica do dia e as características da vegetação que cobre o terreno são determinantes nesta transferência de energia entre a atmosfera e a superfície.

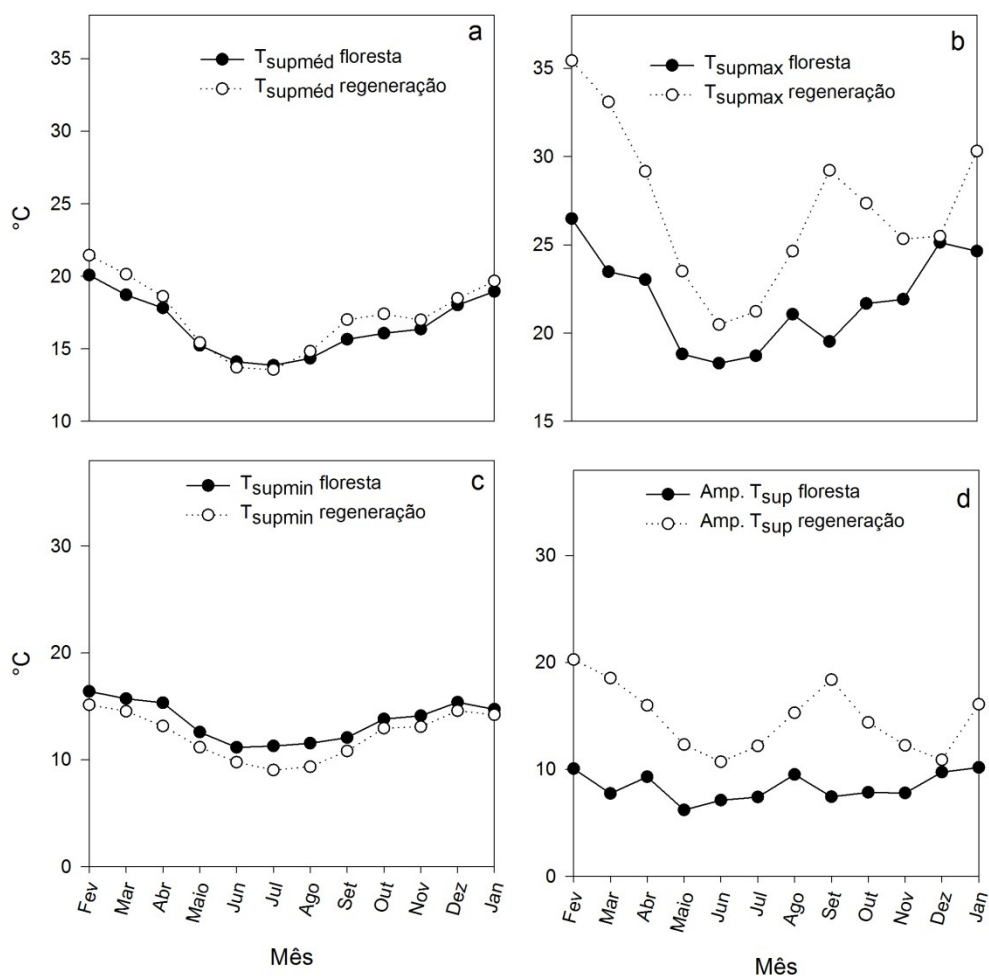


Figura 25 - Médias mensais da temperatura da superfície obtidos na floresta e na área em regeneração, entre Fev/2016 e Jan/2017. (a) Temperatura da superfície média. (b) Temperatura da superfície máxima. (c) Temperatura da superfície mínima. (d) Amplitude térmica da superfície. Parque Estadual Forno Grande, Castelo ES, Brasil. Fonte: o autor.

Na floresta de altitude, o calor transferido durante o dia das camadas superiores (2 e 5 cm) às camadas inferiores (10 e 20 cm) é conservado no solo a noite, não atingindo as camadas superiores a ponto de aquecê-los satisfatoriamente, devido a sua baixa condutividade. Isto faz com que em média anual as camadas superiores do solo seja mais fria do que as camadas inferiores (Tabela 6).

Ao passo que o solo na área em regeneração, por possuir uma maior condutividade, suas camadas superiores sofrem um maior aquecimento tanto ao dia pela radiação solar quanto à noite pela condução do calor advindo das camadas inferiores.

Tabela 5 - Média anual da temperatura do solo (T solo) medida a 2, 5, 10 e 20cm de profundidade, referente aos valores obtidos entre Fev/2016 e Jan/2017, em duas fitofisionomias de floresta de altitude. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

| | Área floresta | Área em regeneração | Valor p |
|-----------------|-------------------|---------------------|---------|
| Tsolo 2cm (°C) | 16,8 ^b | 19,5 ^a | <0.0001 |
| Tsolo 5cm (°C) | 16,9 ^b | 19,1 ^a | <0.0001 |
| Tsolo 10cm (°C) | 17,1 ^b | 18,8 ^a | <0.0001 |
| Tsolo 20cm (°C) | 17,3 ^b | 18,6 ^a | <0.0001 |

Letras diferentes indicam significância a 1% de probabilidade.

A relação entre a temperatura do solo, medido a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade, dos dados de média diária obtidos na floresta e na área em regeneração são apresentados na Figura 26.

Observa-se pelos coeficientes angulares das retas que esta menor temperatura observada na floresta diminui gradualmente a medida que se aprofunda no solo.

De acordo com os resultados, a 2 cm a temperatura do solo na floresta é aproximadamente 2,7°C menor do que na área em regeneração; a 5 cm foi aproximadamente 2,2°C menor; a 10 cm foi aproximadamente 1,7°C menor e; a 20 cm foi aproximadamente 1,3°C menor.

Como visto anteriormente, em média a temperatura na superfície do solo na floresta é 0,9°C menor do que na área em regeneração e a 2 cm de profundidade é 2,7°C, ou seja tomando como base somente a temperatura na superfície pode-se concluir que os solos se assemelham quanto a temperatura, no entanto deve-se levar em consideração o efeito do vento que atinge a superfície do solo, fazendo com que a temperatura na superfície em média dos dois ecossistemas se aproxime.

Para verificar o efeito da sazonalidade na temperatura do solo, medidos a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade, apresentam-se na Figura 27 gráficos com os valores da média mensal destas variáveis, para o período da pesquisa. A diferença na condutividade do calor entre o solo da floresta e da área em regeneração se revela de forma nítida quando se observa os gráficos das Figuras 27a e 27b.

Ao longo do ano todo, as camadas inferiores no solo da floresta são mais quente do que as camadas superiores, o que se inverte na área em regeneração, onde o solo é mais quente próximo à superfície.

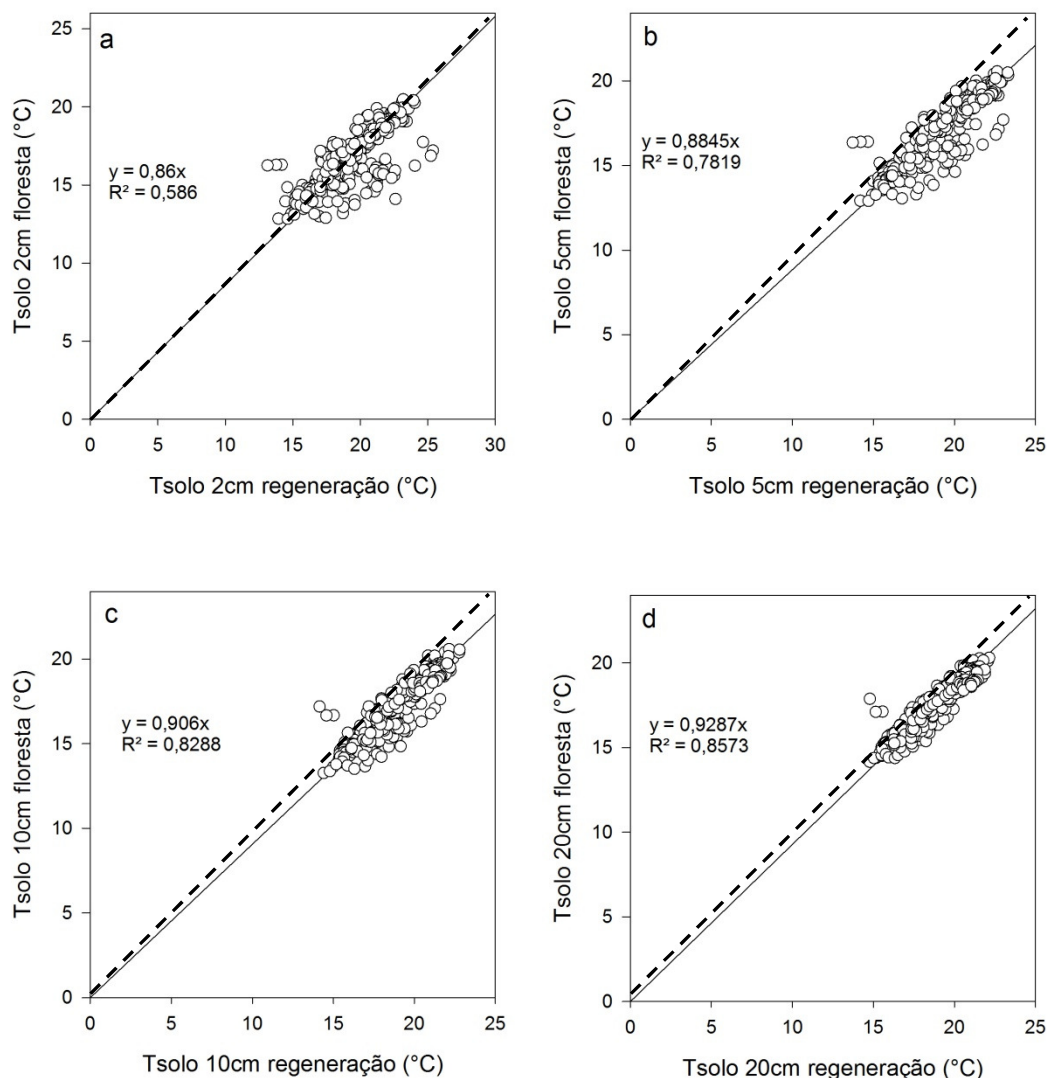


Figura 26 – Análise de regressão dos dados da média diária da temperatura do solo a 2cm (a), 5cm (b), a 10 cm (c) e a 20 cm (d) de profundidade obtidos na área floresta e na área em regeneração. Parque Estadual Forno Grande, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Outra diferença que está relacionado à variação sazonal é que na floresta as diferenças de temperatura entre as camadas do solo são mais marcantes em épocas frias do ano, quando menos radiação atinge o solo e o calor se conserva nas camadas inferiores, pela baixa condutividade, tornando-as mais aquecidas. Nas épocas mais quentes do ano as temperaturas das

camadas superiores, por influência do aquecimento diurno, se aproximam daquelas registradas nas camadas mais profundas (Figura 27a).

Ao contrário, na área em regeneração as diferenças de temperatura são mais pronunciadas nos períodos mais quentes do ano, quando há uma maior intensidade de radiação atingindo o solo durante o dia e, devido a sua maior condutividade, à noite o calor é transferido para as camadas mais próximas à superfície (Figura 27b).

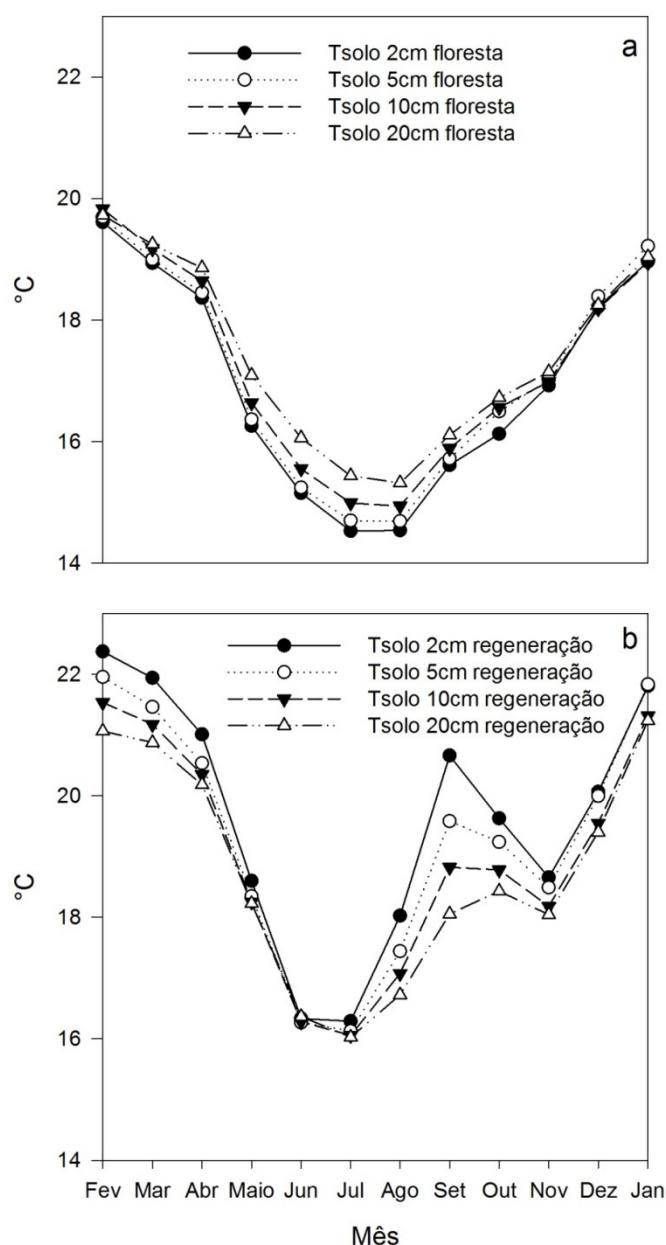


Figura 27 – Médias mensais da temperatura do solo medida a 2, 5, 10 e 20cm de profundidade na área floresta (a) e na área em regeneração (b). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

O efeito sazonal referente à pluviosidade, relacionado com a temperatura do solo também pode ser explorado quando se analisa a Figura 27, tendo em vista que a umidade presente no solo interfere na capacidade de condução do calor.

Percebe-se que na época que compreende o fim do período seco (Setembro de 2016) a temperatura do solo a 2 cm de profundidade na floresta se aproxima da temperatura das camadas mais profundas. Este efeito fica mais pronunciado quando se observa a temperatura no solo, para este mês, referente aa área em regeneração. O solo seco aumenta ainda mais a capacidade condutiva fazendo com que as camadas superiores se tornam mais quentes do que as mais profundas.

Como mostrado anteriormente, o período entre Outubro e Dezembro de 2016 foi o que houve a maior pluviosidade dentro do ano. Mesmo sendo um período de aumento de temperatura do ar e da incidência de radiação, observa-se que na área em regeneração as diferenças de temperatura entre as camadas do solo não foram tão pronunciadas quando comparada ao mês de Fevereiro de 2016. A pluviosidade observada neste período aumentou a umidade do solo fazendo com que a condutividade térmica diminuísse, aproximando a temperatura entre as camadas do solo.

Da mesma forma como observado nos tópicos anteriores a nebulosidade influencia na temperatura do solo, pois em dias nublados o fluxo de radiação é menos intenso do que em dias de céu claro e esta influência é mais pronunciada na área em regeneração (Figuras 28 e 29).

Conforme os dados para os quatro dias de análise, observa-se que a nebulosidade atenua os efeitos da incidência de radiação durante o período diurno provocando um decaimento da temperatura na superfície e diminuindo a amplitude térmica próxima ao solo, seguindo a mesma tendência observada na temperatura do ar (Figura 28).

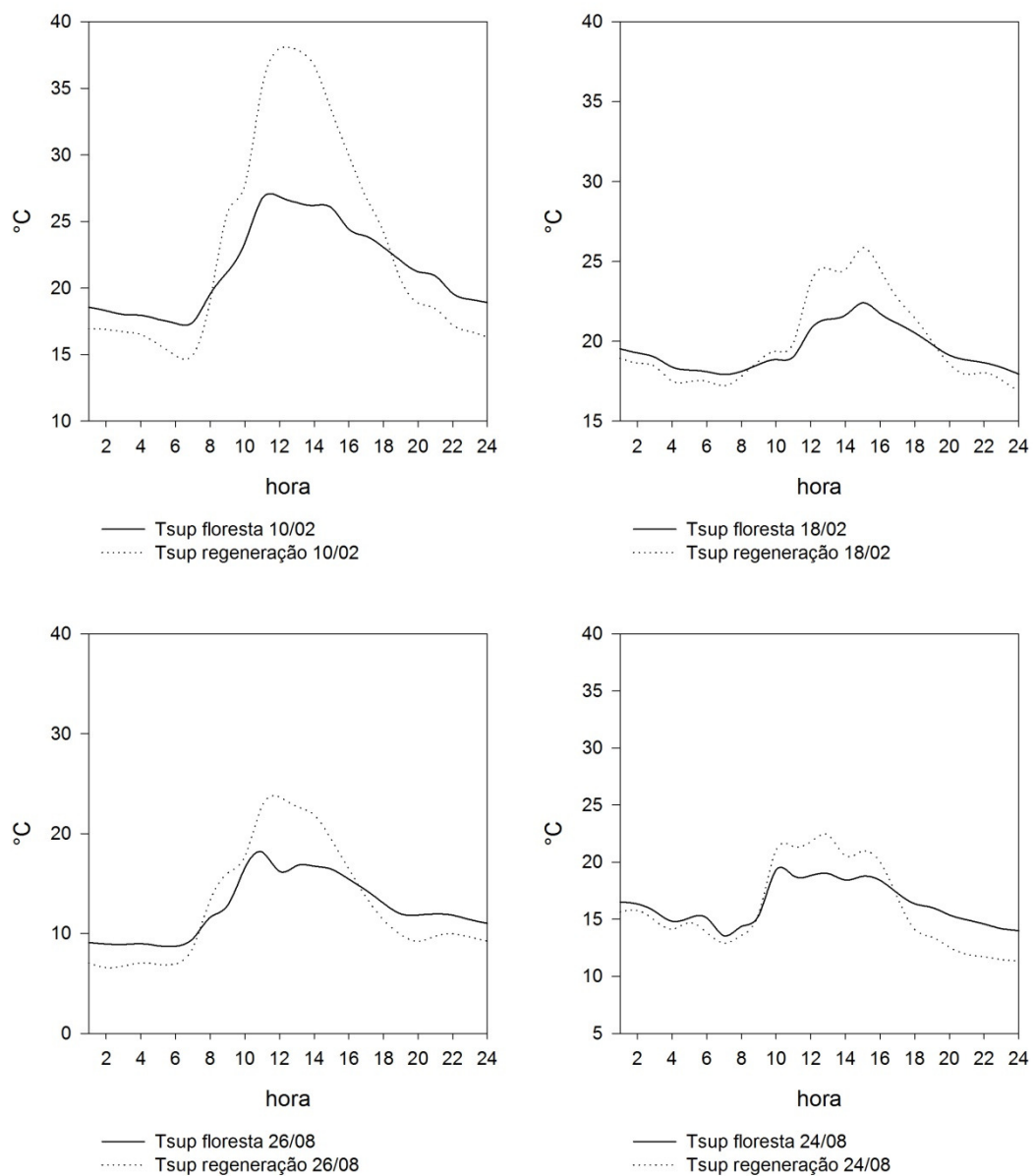


Figura 28 - Média horária da temperatura da superfície medida na área floresta e na área em regeneração, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Independente da época do ano e da condição meteorológica observa-se que a variação da temperatura no solo ao longo do dia tende atingir uma isoterma a medida que se aprofunda no solo (Figura 29).

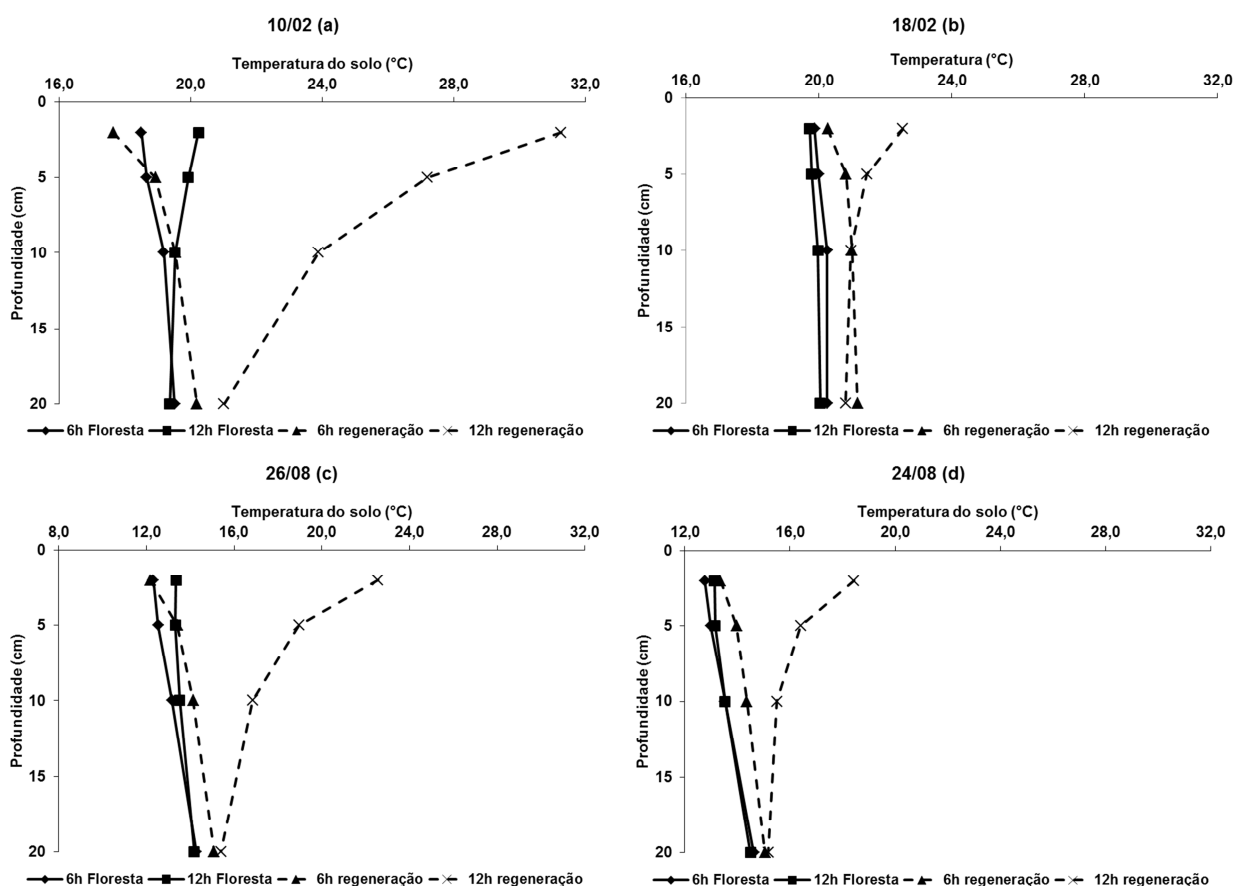


Figura 29 - Perfil da temperatura do solo medida a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade em duas fitofisionomias de uma floresta de altitude, em dois dias de céu claro (a e c) e dois dias nublados (b e d) em duas estações do ano (verão e inverno). Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Ao longo de todo o perfil do solo na floresta, a temperatura ao longo do dia não oscila tanto quanto na área em regeneração. A área em regeneração, por possuir um maior fluxo de radiação, permite que a amplitude térmica seja mais acentuada, principalmente nas camadas mais próximas à superfície.

No entanto é possível observar que a presença de nuvens na atmosfera altera o comportamento da temperatura ao longo do dia. Em dias nublados há uma diminuição na amplitude térmica do solo, que é mais marcante nas camadas superiores do solo da área em regeneração, onde a troca de energia com a atmosfera é mais intensa.

Carneiro et al. (2014) em um estudo desenvolvido em um fragmento de floresta tropical localizado no nordeste do Brasil, no intuito de verificar a variabilidade da temperatura do solo com e sem a presença de liteira,

observaram que nas primeiras camadas do solo houve uma maior variação na temperatura sendo mais pronunciada no período seco.

De acordo com os resultados obtidos ao longo do dia a temperatura do solo na floresta é mais estável e com temperatura menos elevada. Provavelmente, a maior variação de temperatura, nas primeiras camadas do solo na área em regeneração provoca condições desfavoráveis à atividade microbiana responsável pela decomposição da matéria orgânica acarretando numa menor disponibilidade de nutrientes disponível para as plantas. No entanto, na área de estudo é necessário se aprofundar neste tema, a fim de se investigar a influência das variáveis microclimáticas nas propriedades químicas e físicas do solo.

5.2. VARIABILIDADE ESPACIAL DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA).

Segundo Wendelli e Marques Filho (1999), a quantidade de radiação transmitida ao longo do dossel de uma floresta depende das características dos elementos vegetais, como tamanho, textura, espessura e orientação das folhas e, da estrutura da vegetação, como altura e distribuição das árvores, continuidade do dossel, densidade e dominância de indivíduos e o índice de área foliar.

Em toda a área, abrangendo as duas fitofisionomias, foram medidos o DAP de 2.045 indivíduos, sendo que a área possui uma distribuição diamétrica em “J” invertido (Figura 30), característico de áreas inequidâneas, onde a densidade maior de indivíduos está nas primeiras classes de diâmetro.

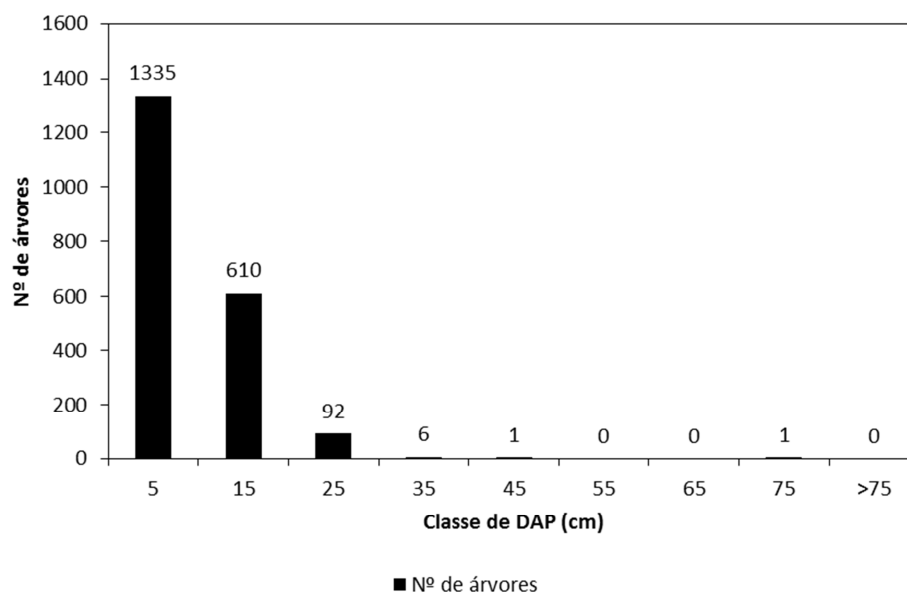


Figura 30 – Distribuição diamétrica encontrada na área de estudo, considerando indivíduos arbóreos com DAP maior ou igual a 5cm. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

De acordo com os dados obtidos nas 65 parcelas, observa-se que a área ocupada pela área com fitofisionomia mais fechada possui uma transmissividade média da RFA menor do que na área classificada como área em regeneração. Esta transmissividade menor pode ser explicada pela estrutura mais densa da floresta, que possui um índice de área foliar e uma área basal maior que a área em regeneração.

A variabilidade espacial dos três atributos (Transmissividade da RFA, IAF e área basal) apresentadas na Figura 31, para toda a área compreendida pelas duas fitofisionomias, resulta em uma variação da transmissividade da RFA entre 0,5% e 75% (Figura 31a), índice de área foliar entre 0,46 e 3,86 (Figura 31b) e área basal entre 1,17 m².ha⁻¹ a 48 m².ha⁻¹ (Figura 31c).

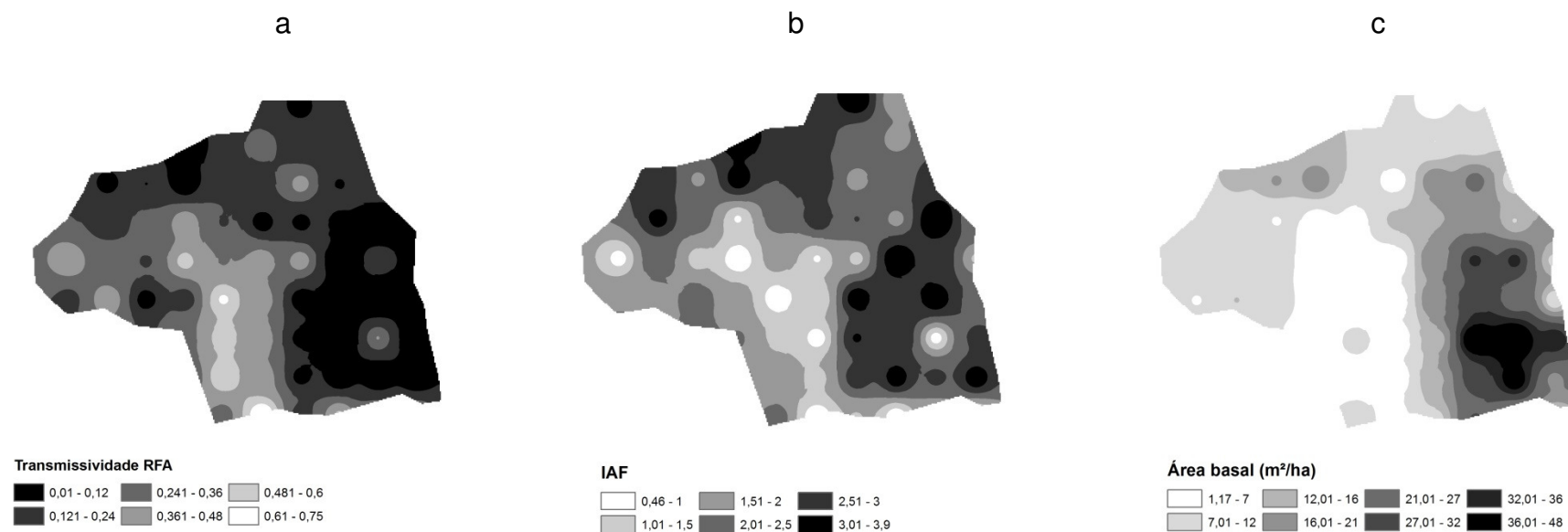


Figura 31 - Variabilidade espacial da transmissividade da RFA, do índice de área foliar e da área basal ao longo da área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

O resultado das relações entre a transmissividade da RFA com o IAF e a área basal é apresentado na Figura 32. De acordo com os dados da análise de regressão, para o conjunto de dados amostrados, o IAF possui uma relação mais significativa com a transmissividade da RFA ($R^2 = 0,6559$) em comparação com a área basal ($R^2 = 0,3412$).

Isto mostra a forte influência do IAF na incidência de radiação na área de estudo. Desta forma medidas de manejo na área que alterem o índice de área foliar deve levar em consideração o incremento da radiação fotossinteticamente ativa que pode acarretar em mudanças nos processos ecológicos tanto na floresta como na área em regeneração.

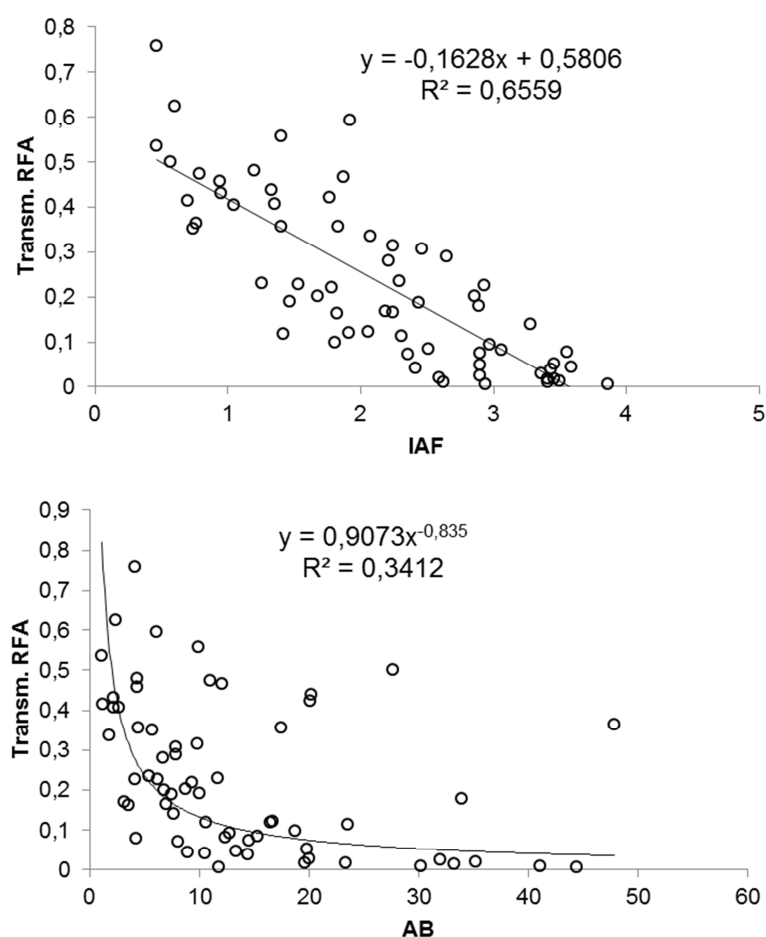


Figura 32 – Análise de regressão entre a transmissividade da RFA em função do IAF (a) e da AB (b) a partir de dados coletados na área de estudo. Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

Devido a relação entre a estrutura do ecossistema e o regime de radiação, a temperatura do ar e a umidade sofrem influências do índice de área foliar. Hardwick et al. (2015) estudaram esta relação e encontraram que para cada unidade a menos de IAF a temperatura do ar máxima, em uma floresta primária em Borneo, aumenta em 2,45°C.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Moreira, Borba e Lemos Filho (2013), que objetivou a determinar uma metodologia para classificar uma espécie rupícola em função da exposição a luz, a heterogeneidade da distribuição da RFA estabelece nichos ecológicos em escala espacial reduzida que determinam a distribuição e a composição de espécies. Portanto, esta diferença no microclima entre as duas fitofisionomias cria nichos ecológicos diferenciados ao longo do gradiente floresta-área em regeneração, mesmo em pequena escala espacial, fazendo com que espécies pioneiras se estabeleçam preferencialmente na área em regeneração, que é onde há uma maior disponibilidade de radiação, enquanto na área que possui uma fitofisionomia mais fechada (área floresta), onde há uma menor oscilação de temperatura e umidade as espécies tolerantes a sombra, que não suportam ambientes com alta incidência de radiação ganham espaço para se estabelecer.

A área basal é uma variável que indica o quanto de espaço em m² é ocupado por um conjunto de indivíduos arbóreos em determinado ecossistema e é determinada pelo DAP. No entanto, a arquitetura e o arranjo das copas e, os tipos de folhas das espécies interferem de forma mais significativa na absorção e transmissão da RFA. Não necessariamente indivíduos com grande valor de DAP irão possuir copas com grande área foliar propícias a absorver mais radiação (Brantley e Young, 2010).

A idade dos indivíduos que compõe o ecossistema também pode influir na análise. Áreas em estágios iniciais de sucessão possuem maior densidade de indivíduos jovens que no final podem representar área basal elevada, porém de baixa estatura e com copas ainda em desenvolvimento. Possivelmente em florestas em estágios avançados de sucessão a área basal deve ganhar em representatividade na relação com a transmissividade da RFA.

Brantley e Young (2009) comparando a transmissividade da RFA em arbustos distribuídos em uma pastagem, em uma floresta de pinus e em uma

floresta decídua encontraram transmissividade da RFA de 0,8%, 1,9% e 5,4% respectivamente, evidenciando a influência da estrutura no regime de radiação.

No entanto, considerando a distribuição linear do IAF e potencial da área basal e após realizar uma análise de regressão múltipla envolvendo a relação entre a transmissividade da RFA com as duas variáveis, observa-se que a área basal contribui para a melhoria do modelo de estimativa, expresso pela seguinte equação:

$$T_{RFA} = 0,2943 - 0,1657 \times IAF + 0,8743 * DAP^{-0,2836} \quad R^2 = 0,8314$$

Onde,

T_{RFA} = transmissividade da RFA;

IAF = índice de área foliar, e

AB = área basal

Embora no presente estudo não tenha sido realizado levantamento florístico na área, nota-se na área de estudo que enquanto a floresta apresenta uma fitofisionomia mais homogênea onde se observa uma diversidade maior de espécies arbóreas, a área em regeneração é composto por mosaicos de vegetação predominantemente arbustiva com uma dominância maior de espécies do gênero *Tibouchina sp.* e *Clusia sp.* Interessante mencionar ainda que ao longo da área não se observa facilmente a presença das espécies predominantes na área em regeneração (*Tibouchina sp.* e *Clusia sp.*) no sub-bosque da floresta.

Trabalhos desenvolvidos na área de fragmentação florestal são exemplos de como a estrutura da vegetação interfere no microclima e consequentemente na distribuição de espécies no interior de uma floresta. À medida que se percorre em um gradiente borda-interior da floresta, observa-se uma diminuição na intensidade de radiação solar e, consequentemente, na temperatura do ar e do solo e no DPV. Esta variação microclimática entre a borda e o interior do fragmento é ocasionada pela diferença na estrutura dos dois ambientes e acaba por controlar o estabelecimento, a composição e a distribuição das espécies ao longo de todo o fragmento (Ewers e Bank-Leite, 2013; Kunert et al., 2015).

Desta forma, observa-se que a área possui uma alta heterogeneidade na distribuição da radiação fotossinteticamente ativa, devido à diferença de fitofisionomia entre os dois ambientes, o que ocasiona uma diferenciação na distribuição das espécies ao longo do gradiente floresta-área em regeneração.

5.3. REGIME DE *SUNFLECKS* EM UMA FLORESTA DE ALTITUDE

De acordo com Shuttleworth et al. (1984), as copas das árvores em um ecossistema florestal formam um dossel heterogêneo com picos e depressões o que permite a entrada da radiação solar. No entanto, esta radiação que penetra o dossel se distribui aleatoriamente próximo à superfície formando manchas solares no solo, denominadas de *sunflecks*, e que correspondem picos de RFA em curto espaço de tempo.

Portanto, o regime de *sunflecks* abaixo do dossel está relacionado com a estrutura do dossel e às condições de topografia e exposição do terreno. Estudos mostram a grande importância destes picos de radiação para o estabelecimento de espécies em ecossistemas florestais, pois mesmo em curto período de tempo o *sunflecks* ativa o processo fotossintético em plântulas e estimula a germinação de sementes que se encontram no solo (Way e Pearcy, 2012).

A distribuição do regime de *sunflecks* no interior da floresta de altitude e da área em regeneração em duas épocas do ano é apresentada na Figura 33. De acordo com os resultados, dentro dos 480 minutos de medição, observa-se que a floresta por apresentar um dossel mais fechado e pouco propício a penetração da RFA a distribuição dos picos de radiação fotossinteticamente ativa predominou na faixa entre 0 e 20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, enquanto na área em regeneração, por ter um dossel mais aberto os picos de RFA se distribuíram melhor dentro das classes de intensidade.

Conforme Chazdon e Pearcy (1991) o regime de *sunflecks* varia entre os tipos de floresta. A duração e a intensidade dos picos de RFA diminuem em função da altura das árvores e do índice de área foliar. Estes autores consideram que *sunflecks* são picos de radiação que não ultrapassam 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Desta forma, considera-se que a floresta possui um regime de

sunflecks bem definido, pois dentro do período experimental breves momentos apenas a radiação ultrapassou $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Ao contrário da área em regeneração que por ter uma fitofisionomia com dossel mais aberto possui uma característica de incidência de radiação mais uniforme.

Os resultados aqui apresentados para a área floresta se aproxima dos dados publicados por Naunburg e Ellsworth (2002) para uma floresta de pinus. Estes autores encontraram uma distribuição de sunflecks na qual se concentra na faixa de 60 a $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

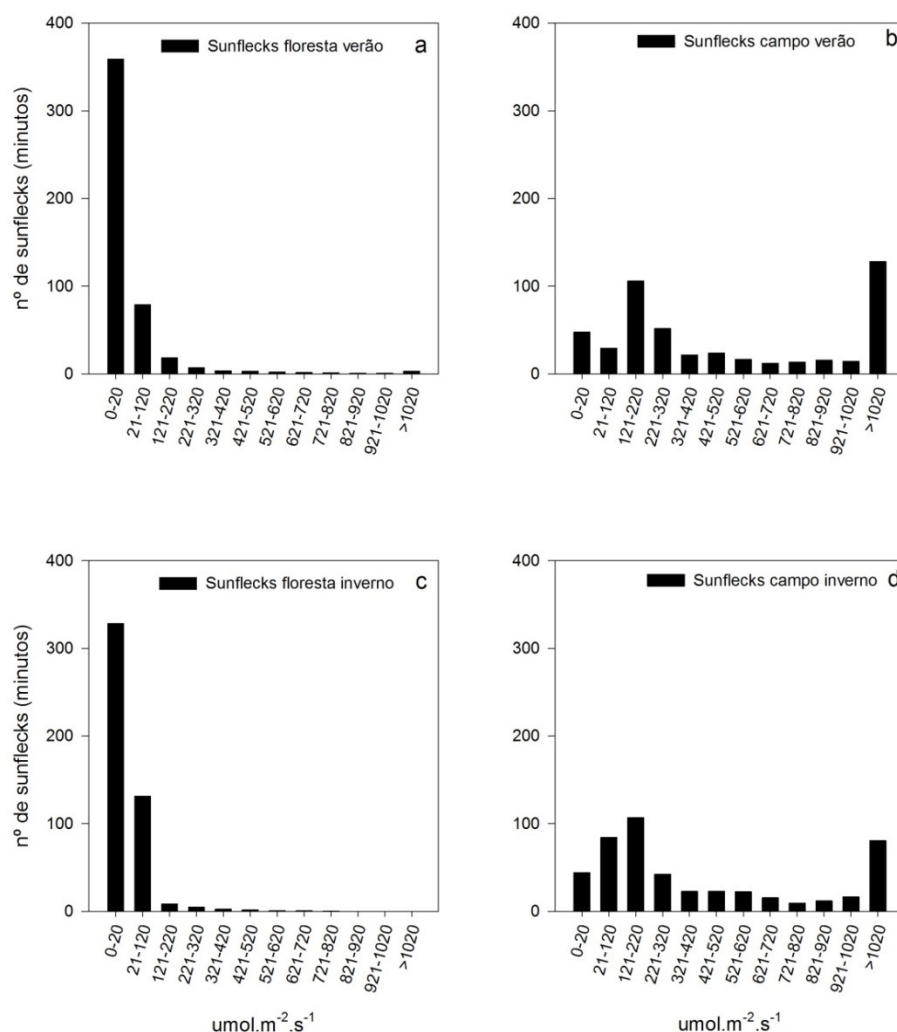


Figura 33 – Distribuição dos picos de radiação fotossinteticamente ativa – *sunflecks* medidos durante 10 dias (5 dias no verão e 5 dias no inverno), na floresta de altitude e campo de altitude, entre 8h e 16h. Parque estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

No verão pela maior intensidade provocada pela variação sazonal pode-se observar três picos acima de $1.020 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ no interior da floresta

e na área em regeneração esta classe foi a que obteve mais registros de *sunflecks*.

Durante o inverno com a diminuição da incidência de radiação, os picos de RFA na floresta se concentram ainda mais nas primeiras classes de intensidade ($0-120 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), e na área em regeneração a faixa que compreende picos acima de $1.020 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ diminui em representatividade e a faixa que se sobressai é de $121 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ até $220 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

A sazonalidade provoca uma variação na frequência de *sunflecks* ao longo do dia. Tanto na floresta como na área em regeneração, nos dias de verão, os maiores valores de picos de RFA foram registrados no período da tarde, enquanto que no inverno os *sunflecks* se mostram mais presentes no período diurno. Isto pode ser explicado pelo movimento aparente do sol, cujo percurso do sol no inverno é mais inclinado, fazendo com que a penetração da radiação embaixo do dossel seja mais intensa durante o dia, ao passo que no verão o aumento da variação do ângulo zenital torna o percurso do sol mais perpendicular, com isso a radiação se mostra mais intensa a tarde (Figura 34).

O curto período sob o incremento de radiação fotossinteticamente ativa provoca reações fisiológicas nas plantas que são muito importantes para a assimilação de carbono e o crescimento de plântulas que habitam o sub-bosque de uma floresta. A abertura e fechamento de estômatos, a ativação e desativação da Rubisco e a habilidade para evitar a fotoinibição são as principais respostas fisiológicas das plantas frente ao súbito incremento de RFA durante o período de *sunflecks* (Porcar-Castell e Palmroth, 2012).

Em um estudo no qual foram observado o crescimento e a assimilação de carbono em plântulas de uma floresta tropical frente ao stress térmico provocado por *sunflecks*, Leakey, Scholes e Press (2004) concluem que embora haja uma restrição ao crescimento relacionada com a fotoinibição, o crescimento foi da ordem de 60% e a assimilação de carbono de 89% durante o período de *sunflecks* em comparação a um regime uniforme de incidência de radiação.

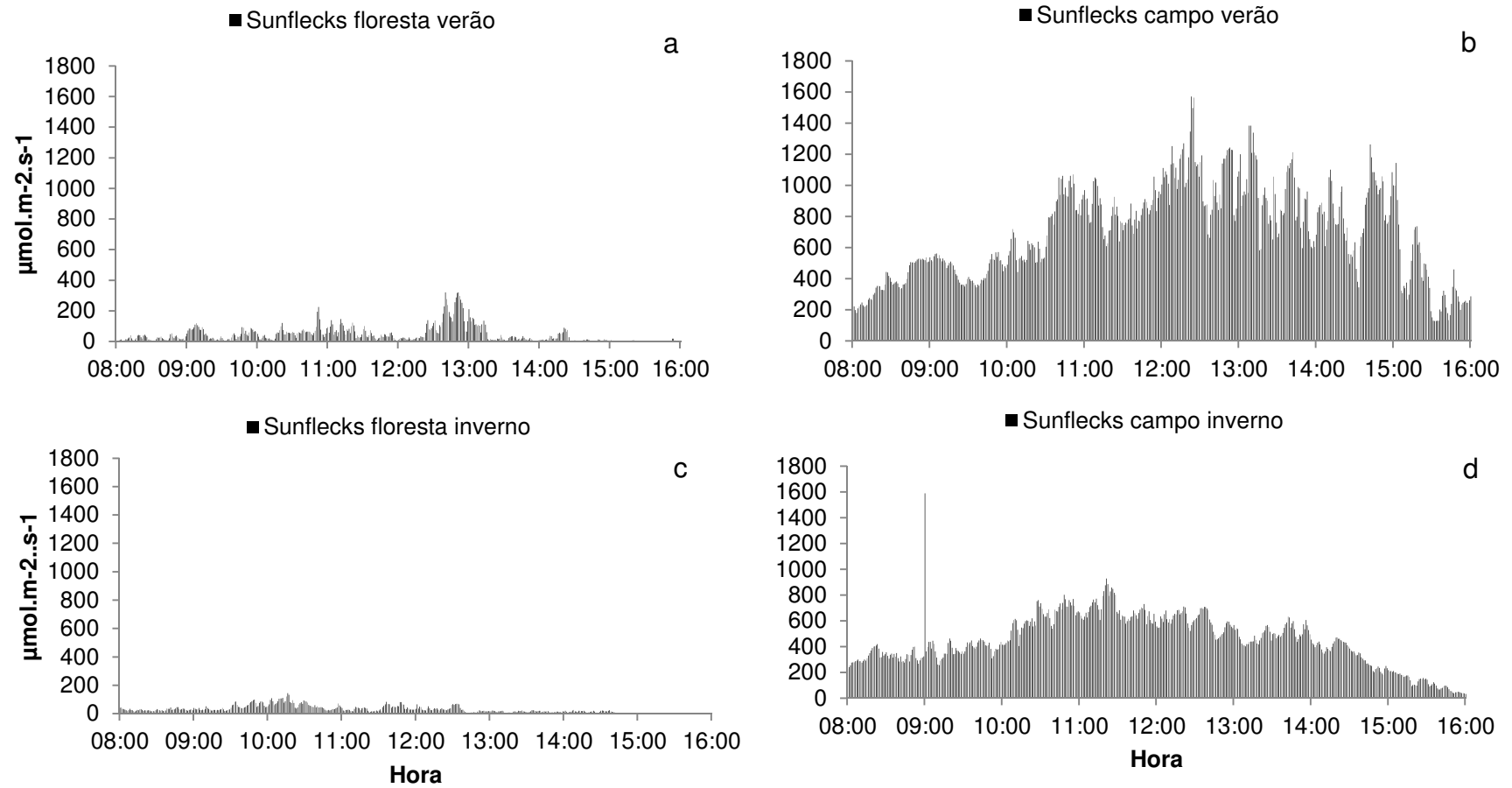


Figura 34 – Média horária de picos de RFA (sunflecks), medidos na floresta e na área em regeneração, em Jul/2016 (c e d) e Jan/2017 (a e b), no Parque Estadual Forno Grande, Castelo, ES, Brasil. Fonte: o autor.

O ponto de saturação de luz determina o limite de intensidade de radiação para que a planta realize a fotossíntese. Passando deste limite o processo fotossintético passa a ser inibido, comprometendo o crescimento. Plantas tolerantes a sombra tendem a ter um ponto de saturação de luz menor do que plantas pioneiras e são mais dependentes do *sunflecks* para realizar a fotossíntese. Por sua vez as plantas que crescem sob condições de intensa luminosidade possuem mecanismos fisiológicos para evitar a fotoinibição.

Desta forma a duração do período do *sunflecks* se torna importante para o desempenho fotossintético. Ao mesmo tempo em que *sunflecks* de curta duração pode não propiciar uma taxa fotossintética ótima, *sunflecks* de longa duração pode ultrapassar o ponto de saturação de luz e provocar a fotoinibição.

Ma et al. (2010) em estudo com espécies em regeneração em uma floresta temperada nos Estados Unidos verificaram que o ponto de saturação de luz variava entre 50 e 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Como o local do estudo possui um regime de radiação mais intensa e com *sunflecks* de longa duração, os autores concluíram que condições de radiação difusa, durante dias nublados, desempenham papel mais importantes para o crescimento do que os *sunflecks*.

Com isso, a relação entre o crescimento e o estabelecimento de plântulas com a variabilidade da radiação abaixo do dossel, e a resposta específica das espécies frente às variáveis ambientais, indica o potencial do regime de *sunflecks* em determinar o processo de regeneração e assim melhorar a estrutura e a composição de espécies na floresta de altitude (Leaky, Scholes e Press, 2004).

6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados expostos e do objetivo e hipótese propostos chega-se as seguintes conclusões que estão pontuadas abaixo:

- O microclima próximo ao solo, nas duas fitofisionomias da floresta de altitude estudada se diferem entre si revelando um gradiente microclimático floresta-área em regeneração. A área com fitofisionomia com um dossel mais fechado, com um maior índice de área foliar, atenua os efeitos da radiação solar durante o dia e mantém a energia no sistema durante a noite, influenciando na variação da temperatura do ar e do solo e no déficit de pressão de vapor.
- A nebulosidade desempenha papel fundamental nas condições microclimáticas. Devido a atenuação da radiação recebida e do efeito mantenedor da radiação emitida, a nebulosidade ameniza as grandes oscilações de temperatura e umidade principalmente na área em regeneração.
- O índice de área foliar e a área basal é maior na floresta do que na área em regeneração, com isso a transmissividade da RFA na floresta é menor do que na área em regeneração. A transmissividade da RFA possui uma relação linear negativa com o IAF e uma relação potencial negativa com a área basal e foi possível apresentar um modelo de estimativa da transmissividade da RFA considerando o IAF e a área basal como variáveis independentes.
- O estudo do regime de *sunflecks* revela que a floresta é um ambiente mais competitivo por luz do que a área em regeneração, pois a maioria dos picos de RFA se concentram na faixa de 0 a 20 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Enquanto na área em regeneração, a RFA é mais intensa e portanto as espécies devem possuir uma maior adaptação a alta intensidade luminosa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da falta de estudos em locais de altitude elevada e dos resultados aqui apresentados, ressalta-se a importância e a necessidade de desenvolvimento de novos estudos que envolvam a relação do microclima aqui descrito e quantificado, com as respostas ecofisiológicas das espécies que compõem o sub-bosque da floresta de altitude em suas diferentes fitofisionomias, de forma a sedimentar o conhecimento do processo de regeneração pelo qual este ecossistema passa. Da mesma forma, estudos que envolvam a relação entre a fitossociologia e a florística destas áreas com as características edáficas são de suma importância para verificar o estágio de sucessão ecológica que a floresta de altitude se encontra.

Portanto, tomando como base as características microclimáticas aqui descritas, surgem lacunas e perguntas que envolvem relações entre o microclima e a distribuição, composição e ecologia das espécies, no entanto apenas o microclima não é suficiente para responder estas perguntas, com isso a necessidade de desenvolvimento de novos estudos que explorem as condições físicas e químicas do solo, e as respostas fisiológicas das espécies que compõe as florestas de altitude no Parque Estadual Forno Grande.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.M.D; MOURA, M.A.L; DOS SANTOS, A.B; CARNEIRO, R.G; SILVA JUNIOR, R.S.. **Radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica em coruripe, alagoas**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.1, 68 - 79, 2014.

ASHCROFT, M.B.; CHISHOLM, L.A.; FRENCH, K.O. **The effect of exposure on landscape scale soil surface temperatures and species distribution models**. Landscape Ecology, 23:211–225. 2008.

BAKER, T.P.; JORDAN, G.J.; STEEL, E.A.; FOUNTAIN-JONES, N.M.; WARDLAW, T.J.; BAKER, S.C. **Microclimate trough space and time: Microclimate variation at the edge regeneration forest ever daily, yearly and decadal time scale**. Forest Ecology Management. 334: 174-184. 2014.

BARRY, R. G. **Mountain weather and climate**. Cambridge University Press. New York: Methuen. 3^a ed. 497p. 2008.

BERRY, Z.C. et al. **Slope position influences vegetation-atmosphere in a tropical mountain cloud forest**. Agricultural and Forest Meteorology. 221, 207-218. 2016.

BIUDES, M.S. et al. **Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil**. Agricultural and Forest Meteorology. 202: 112-124. 2015.

BONAN, G. B. **Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests**. Science. v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.

BRANTLEY, S.T.; YOUNG, D.R. **Contribution of sunflecks is minimal in expanding shrub thickets compared to temperate forest**. Ecology, v. 90, n. 4, p. 1021-1029, 2009.

BRANTLEY, S.T.; YOUNG, D.R. **Linking light attenuation, sunflecks, and canopy architecture in mesic shrub thickets**. Plant Ecology 206 (2): 225-236. 2010.

BROKAW, N.V.L. **Gap-phase regeneration in tropical forest**. Ecology, 66:682-687. 1985.

BROWN, N. **The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean lowland forest**, Journal of Tropical Ecology 9:153-168. 1993.

CARON, B.O. et al. **Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.36, n.5, p.833-842, 2012.

CARNEIRO, R.G.; MOURA, M.A.L; SILVA, V.P.R; SILVA JUNIOR, R.S.; ANDRADE, A.M.D.; SANTOS, A B. **Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.1, p. 99-108, 2014.

CAVELIER, J. **Reforestation with the native tree alnus acuminata: effects on phytodiversity and species richness in an upper montane rain forest area of colombia**. In: LAWRENCE, S.H.; JUVICK, J.O.; SCATENA, F.N. **Tropical montane cloud forests**. New York. Ecological studies. Vol. 110. 1995.

CHAZDON, R. L.; FETCHER, N. **Photosynthetic light environments in a lowland tropical rain forest in Costa Rica**. The Journal of Ecology, p. 553-564, 1984.

CHAZDON, R.L.; PEARCY, R.; LEE, D.; FETCHER, N. **Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments**. In: MULKEY, S.S.; CHAZDON, R.L.; SMITH, A.P. **Tropical forest plant ecophysiology** (ed. Chapman & Hall). Pp 5-55. 1995.

CHAZDON, R.L.; PEARCY, R.W. **The importance of sunflecks for forest understory plants**. Bioscience, 41, 11; Research Library pg. 760. 1991.

CHEN, J.; SAUNDERS, S.C.; CROW T.R.; NAIMAN, R.J.; BROSOFSKE, K.D.; MROZ, G.D.; BROOKSHIRE, B.L.; FRANKLIN, J.F. **Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology**. BioScience, vol. 49, n. 4, p. 288-297. 1999.

DAVIES-COLLEY, R. J; PAYNE, G. W.; VAN ELSWIJK, M. **Microclimate gradients across a forest edge**. New Zealand Journal of Ecology, Vol. 24, No. 2 pp. 111-121. 2000.

DENSLOW, J.S. **Tropical rainforest gaps and tree species diversity**. Annual Review of Ecology and Systematics 18:431-451. 1997.

DONG, S.X.; DAVIES, S.J.; ASHTON, P.S.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; SUPARDI, M.N.N.; KASSIM, A.R.; TAN, S.; MOORCROFT, P.R. **Variability in solar radiation and temperature explains observed patterns and trends in tree growth rates across four tropical forest**. Proceedings of the Royal Society. B 279, 3923–3931. 2012.

EWERS, R.M.; BANKS-LEITE, C. **Fragmentation Impairs the Microclimate Buffering Effect of Tropical Forests**. PLoS ONE 8(3): e58093. 2013. doi:10.1371/journal.pone.0058093

FETCHER, N.; OBERBAUER, S.F.; STRAIN, B.R. Vegetation Effects on Microclimate in Lowland Tropical Forest in Costa Rica. Int. J. Biometeor. Vol. 29, No. 2, pp. 145-155. 1985.

FRANÇA, G.S.; STEHMANN, J.R. **Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta altimontana no município de Camanducaia, Minas Gerais, Brasil**. Revista Brasil. Bot., V.27, n.1, p.19-30, jan.-mar. 2004.

GEIGER, R. **The climate near the ground**. Havard University Press. Cambridge. Massachusetts. 1965.

GRUBB, P.J. **The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche**. Biological Review. Vol. 52. p. 107-145. 1977.

HARDWICK, S.R. et al. **The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives change in microclimate**. Agricultural and Forest Meteorology. 201: 187-195. 2015.

IDAF. **Plano de manejo do Parque Estadual do Forno Grande**. Versão resumida. MMA/FNMA. 44p. 2001.

JANZEN, D.H. **Why mountain passes are higher in the tropics**. The american naturalist. vol. 101, no. 919, pp. 233-249. 1967.

JONCKHEERE, I. et al. **Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography**. Agricultural and Forest Meteorology 121: p. 19-35. 2003.

KALLARACKAL, J.; SOMEN, C.K. **An ecophysiological evaluation of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics**. Forest Ecology and Management. 95, 53-61. 1997.

KOZLOWSKI, T.T. et al. **The physiological ecology of Woody plants**. Academic Press. New York, 657p. 1991.

KUNERT, N.; APARECIDO, L.M.T.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; TRUMBORE, S. **Higher tree transpiration due to road-associated edge effects in a tropical moist lowland forest**. Agricultural and Forest Meteorology. 213:183-192. 2015.

LEAKEY, A. D. B.; SCHOLLES, J. D.; PRESS, M. C. **Physiological and ecological significance of sunflecks for dipterocarp seedlings**. Journal of Experimental Botany, v. 56, n. 411, p. 469-482, 2004.

MA, S.; CONCILIO, A. OAKLEY, B.; NORTH, M.; CHEN, J. **Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burnig treatments**. Forest ecology and Management. 259: 904-915. 2010.

MAASS, J.M. et al. **Seasonal changes of leaf área index (LAI) in a tropical deciduous Forest in West Mexico**. Forest Ecology and Management. n. 74. p. 171 - 180. 1995.

MOREIRA, R.A.; ROCHA, O.; SANTOS, R.M.; DIAS, E.S.; MOREIRA, F.W.A.; SANT'ANNA, E.N.E. **Composition, body-size structure and biomass of zooplankton in a high-elevation temporary pond (Minas Gerais, Brazil)**. Oecologia Australis, vol 20, no 2. 2016.

MOURA, R.G. **Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida**. Dissertação (Mestrado). INPE, São José dos Campos, 146p. 2007.

MOTZER, T. Micrometeorological aspects of a tropical mountain forest. Agricultural and Forest Meteorology. 135, 230-240. 2005.

NAUMBURG, E.; ELLSWORTH, D.S. **Short-term light and leaf photosynthetic dynamics affect estimates of daily understory photosynthesis in four tree species**. Tree Physiology 22.(6): 393-401. 2002.

PEARCY, R.W. **The light environment and growth of C3 e C4 species in the understory of a Hawaiian forest**. Oecologia. 58: 26-38. 1983.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Porto Alegre: Editora Agropecuária, 190 p. 2002.

PORCAR-CASTELL, A.; PALMROTH, S. **Modelling photosynthesis in highly dynamic environments: the case of sunflecks**. Tree Physiology 32, 1062–1065. 2012.

PEZZOPANE, J.R.M; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P.B. **Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana ‘prata anã’**. Bragantia, Campinas, v.64, n.3, p.485-497, 2005.

RENÓ, I.P. **Dinâmica temporal e composição florística da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa montana, parque estadual da serra do mar, SP, Brasil**. Dissertação (Mestrado). UNESP. Rio Claro. 118p. 2015.

RIBEIRO, R.V.; SOUZA, G.M.; OLIVEIRA, R.F.; MACHADO, E.C. **Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions.** Revista Brasil. Bot., V.28, n.1, p.149-161. 2005.

RODRIGUES, H.J.B et al. **Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.2, 189 - 196, 2011.

ROSEMBERG, R.J.; BLAD, B.L.; VERNA, S.B. **Microclimate: The biological environment.** New York, John Wiley & Sons. 1983.

SANTOS, C.A.C.; WANDERLEY, R.L.N.; ARAÚJO, A.L.; BEZERRA, B.G. **Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na amazônia (estação seca) através do sensor modis.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.3, 420 - 432, 2014.

SCUDELLER, V.V.; MARTINS, F.R.; SHEPHERD, G.J. **Distribution and abundance of arboreal species in the atlantic ombrophilous dense forest in southeastern brazil.** Plant Ecology. vol. 152, no. 2, pp. 185-199. 2001.

SENTELHAS, P. C.; NASCIMENTO, A. L. C. **Variação sazonal da relação entre o saldo de radiação e a irradiância solar global.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 18, n. 1, p. 71-77, 2003.

SHUTTLEWORTH, W. J. **Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 110.466:1163-1169. 1984

SNUC. 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação: texto da Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 e vetos da presidência da República ao PL aprovado pelo congresso Nacional.** 2ª edição ampliada. Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica: série políticas públicas. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da mata Atlântica. 76 p.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa. Ed. UFV. 276p. 2006.

STRAUSS-DEBENEDETTI, S.; BAZZAZ, F.A. **Photosynthetic characteristics of tropical trees along sucessional gradients.** In: Tropical forest plant ecophysiology. Ed. MULKEY, S.S.; CHAZDON, R.L.; SMITH, A.P. Chapman & Hall. 675p. 1995.

TANNER, E. V. J.; KAPO. V. **Leaf structure of jamaican upper montane rain-forest trees.** Biotropica. vol. 14, no. 1, pp. 16-24.1982

VANWALLEGHEM, T.; MEENTEMEYER, R. K. **Predicting Forest Microclimate in Heterogeneous Landscapes**. Ecosystems 12: 1158–1172. 2009.

VELOSO, H.P., OLIVEIRA FILHO, L.C., VAZ, A.M.S.F., LIMA, M.P.M., MARQUETE, R. & BRAZÃO, J.E.M. (orgs.). **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro, v.1. 19. 1992.

VERVLOET, R. J. H. M. **Considerações sobre a variabilidade natural das precipitações no espírito santo e a “estiagem” no biênio 2014/2015**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 19, 2016.

VON ARX, G.; PANNATIER, E.G.; THIMONIER, A.; REBETEZ, M. **Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate**. Journal of Ecology, 101, 1201–1213. 2013.

WANDELLI, E.V.; MARQUES-FILHO, A.O. **Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais**. Acta Amazonica. vol. 29, no 1. P 57-78. 1999.

WAY, D. A.; PEARCY, R. W. **Sunflecks in trees and forests: from photosynthetic physiology to global change biology**. Tree Physiology, v. 32, n. 9, p. 1066-1081, 2012.

WATT, A.S. **Pattern and process in the plant community**. Journal of Ecology 35:1-22. 1947.

WHITMORE, T.C. **Canopy gaps and the two major groups of forest trees**. Ecology 70:536-538. 1989.

ZORZANELLI, J.P.F; DIAS, H.M.; SILVA, N.R.; KUNZ, S.H. **Richness, structure and vegetation relationships of the woody layer in an upper montane forest in caparaó national park, Minas Gerais State, Brazil**. Oecologia Australis. vol. 20. no 2: p.177-183. 2016.